

杂散电流一体化智能综合监控分析系统的研究

汪理, 章达

(南京地铁建设责任有限公司, 南京 210017)

摘要: 针对杂散电流的泄露对设备及主体结构腐蚀和危害较大, 常规检测技术功能单一的问题, 提出了融合导通柜、排流柜、钢轨电位限位装置的一体化综合监控分析系统; 通过分析钢轨电位与杂散电流的关系, 并对导通柜、排流柜及钢轨电位限制装置作智能化设计, 该研究能够进行智能化排流; 本研究中的系统包括参比电极、采集器、监测装置、排流柜、单向导通装置、主站后台等, 根据全线杂散电流控制指标, 结合不同设备状态及其与杂散电流系统的耦合情况, 对多元参数进行分析运算, 给出智能导通柜、排流柜及钢轨电位限制装置一体化最优控制方式, 以达到最优化的杂散电流治理效果; 试验表明, 设计的方案最大限度地减少了杂散电流的泄露对设备及主体结构的腐蚀和危害, 延长设备及轨道洞体结构的使用寿命。

关键词: 杂散电流; 综合监控分析系统; 智能化排流; 检测技术; 参比电极

Research on Integrated Monitoring and Analysis System for Stray Current

Wang Li, Zhang Da

(Nanjing Metro Construction Co., Ltd., Nanjing 210017, China)

Abstract: Aiming at the problem that the leakage of stray current has great corrosion and damage to the equipment and the main structure, and the conventional detection technology has a single function, an integrated comprehensive monitoring and analysis system that integrates conduction cabinets, drainage cabinets, and rail potential limit devices is proposed. By analyzing the relationship between the rail potential and stray current, and intelligently designing the conduction cabinet, the drainage cabinet, and the rail potential limiting device, the research can conduct intelligent drainage. The system in this study includes reference electrodes, collectors, monitoring devices, drainage cabinets, one-way conduction devices, master station backstage, etc., according to the full line stray current control indicators, combining different equipment states and their relationship with the stray current system. Coupling conditions, analysis and calculation of multiple parameters, and the integration of intelligent control cabinets, drainage cabinets, and rail potential limiter integrated optimal control methods to achieve the optimal stray current management effect. Tests show that the design scheme minimizes the corrosion and hazards of the leakage of stray current on the equipment and the main structure, and prolongs the service life of the equipment and the track cavity structure.

Keywords: stray current; integrated monitoring and analysis system; intelligent drainage; detection technology; reference electrode

0 引言

在城市交通中, 城市轨道交通在改善和提高市民的生活水平方面发挥着举足轻重的作用, 同时, 在增强城市综合承载能力以及构建区域性国际会议、国际中心城市中也具有重大的意义^[1-2]。直流供电在地铁供电、运行过程中具有重要的作用。尤其在不同的负荷情况下, 列车容易在行走轨道上形成一定的工作电流, 该工作电流的电流值通常不同, 在一些情况下, 形成的不同电流值之间差值较大或者差值不同。在所形成的工作电流中, 一部分的工作电流通过行走轨道返回输出电源的负极端部, 其中的另一部分电路流入通过轨道, 或者流入通过与地面绝缘不良的地方, 甚至会泄漏到地铁道床附近, 或者泄露到地铁周围土壤介质中^[3-4]。在行走轨道中的一些区段中, 在一些情况下, 比如负荷、环境影响等各种因素的作用下, 还会出现数值量

不很大的杂散电流, 这些杂散电流在环境因素下, 还会发生电化学腐蚀反应, 通过电化学腐蚀反应, 容易使与铁道设备无关的金属在电路回路中的溶液中通过构成回路的方式产生氧化还原反应, 进而使得地铁中的轨道或者影响轨道运行的重要部件遭受严重腐蚀。如果在行走轨道中的重要部件或者金属管道中发生腐蚀, 则可能出现管道漏洞, 从而使管道中的液体、气体出现泄露, 这些现象会给交通安全造成隐患^[5-6]; 如果这种泄露比较严重, 则很可能会发生比较严重的事故, 诸如断裂、沉积、下榻等^[7-8]。

基于上述描述, 就需要一套监测杂散电流的分析系统。现有的地铁杂散电流监测系统由于精度差、难以实现综合智能化控制, 已经不适用目前技术的发展, 随着轨道交通行业日新月异的发展, 新型地铁杂散电流监测系统需要随着进步。铁路行业以及市民均呼吁要求最大限度地减少杂散电流的泄漏, 避免杂散电流对管道、设备以及关键、重要结构部件的腐蚀, 延长铁路硬件设备的使用周期, 尤其是在车辆密集发生路段、隧道交通等关键路段^[9-10]。针对上述情况, 本研究针对新型的智能综合监控系统进行论述和

收稿日期: 2019-11-21; 修回日期: 2019-12-30。

作者简介: 汪理(1982-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事轨道交通供电系统方向的研究。

说明。

1 总体架构设计

如图 1 所示, 本研究设计的杂散电流一体化智能综合监测及防护系统主要包括智能排流柜、单向导通柜、数据采集系统和主站监控系统。更具体地说, 包括参比电极、采集器、监测装置、排流柜、单向导通装置、主站后台等, 该系统能够对直流牵引供电列车运行时泄漏到道床、隧道及其周围土壤介质中的杂散电流进行监测, 并根据杂散电流情况进行智能排流, 主站后台集数据监测、查询、报警、曲线、报表打印等功能为一体清晰明了地呈现杂散电流实时历史状况, 单向导通装置防护如车辆段、隧道等特殊路段^[11-12]。

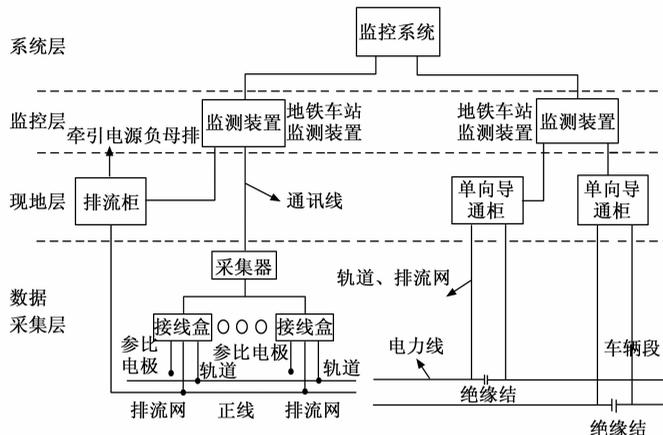


图 1 系统结构示意图

系统在层次上包括数据采集层、现地层、监控层和系统层, 能够同时采集智能排流柜、智能导通柜、轨电压限位装置数据, 上传主站系统, 实时监测全线杂散电流, 在线分析任何一处排流柜、导通柜、轨电压限位装置动作时全线杂散电流变化情况^[13]。根据全线杂散电流控制指标, 结合不同设备状态及其与杂散电流系统的耦合情况, 对多元参数进行分析运算, 给出智能导通柜、排流柜、及钢轨电位限制装置优化控制方式, 以达到最优化的杂散电流治理效果^[14-15]。

本研究设计的杂散电流监测及防护系统适用于城市轨道交通中的地铁、轻轨等直流牵引供电轨道线路。

本系统设计兼具跨平台操作功能, 能够支持 Linux、Windows、UNIX 操作系统, 客户端采用 B/S 结构, 能够支持 WEB 浏览、手机 APP 功能, 数据库跨平台支持传统商用数据库 (ORACLE、SQL) 以及达梦、金仓等多种国产商用数据库^[16-17], 提高国产化率及系统的易操作性。

该一体化系统可对导通柜、排流柜、钢轨电位限位装置进行一体化综合监控, 分析钢轨电位与杂散电流的关系, 并对导通柜、排流柜、及钢轨电位限制装置作智能化设计, 做到科学自动的智能化排流。智能单向导通柜采用最新的直流开关技术的应用。该综合分析系统能够最大限度的减

少了杂散电流的泄漏对设备及主体结构腐蚀和危害, 延长设备及轨道洞体结构的使用寿命。

2 关键技术设计

2.1 智能排流柜设计

智能排流柜由电压电流传感器、开关量输入电路构成输入检测电路, 把排流电流及电压转换为数字量, 同时实时检测断路器、熔断器的开关状态, 监测控制部分将输入量通过数码管、灯以及通讯等方式显示排流柜状态。该排流柜有五路控制回路, 每个排流回路流经 IGBT、二极管、熔断器、断路器、限流电阻流回牵引变电所的负母排。此外, 装置有自检和保护功能、保护复归功能, 提高系统的安全可靠性^[16-17]。

智能排流柜由电压电流传感器、开关量输入电路构成输入检测电路, 把排流电流及电压转换为数字量, 同时实时检测断路器、熔断器的开关状态, 监测控制部分将输入量通过数码管、灯以及通讯等方式显示排流柜状态。装置有通讯与显示功能, 可以把系统检测的数据显示在排流柜的液晶屏上, 也可以通过网络传给后台。具备远方/就地控制功能, 可通过转换开关选择, 以便于不同情况下的使用, 选择远方后, 控制系统会自动监测, 对满足排流条件的排流回路排流^[18-19]。装置有自检和保护功能、保护复归功能, 提高系统的安全可靠性。可专用于风电功能简单的场合, 也可用于光伏系统, 要求灵活配置。要求各项电气性能、机械性能、热稳定性达工业标准, 能适应 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 极限温度。

2.2 单向导通装置

使用新设计的单向导通柜, 由正反双向晶闸管控制, 根据现场有无车及电压状态智能导通控制以及决定导通去向, 避免长期接通情况下杂散电流大量流入, 单相导通柜使用具有消弧作用的晶闸管, 防止烧坏导轨, 安装排流柜设备, 具备手动和自动排流功能, 排流柜内使用 PLC 控制, 使排流操作更加智能^[20-21]。根据实际现场环境采用双向多个超声波模块监测有无车经过, 提升检测的精度和准确性。采用新型综合监控分析系统, 支持跨平台的操作系统, 可实时准确对各个节点进行相关数据采集和监测, 具备分析、统计、历史数据记录与查询、曲线等功能, 导通柜采用最新的直流开关技术, 确保开关动作可靠性。采用录波分析装置, 对有车来时刻的列车轨道电压用曲线直观查看。

单向导通装置采用正反双向晶闸管, 根据现场电压智能导通决定导通去向, 增加使用的灵活性及可靠性。同时根据电压自动导通晶闸管起到消弧作用, 有效防止烧坏导轨。采用高性能数据采集设备, 基于 SOC 技术全智能 I/O 模块, 提高抗干扰能力。防护系统对杂散电流泄漏的分析功能, 对大量历史数据进行统计挖掘, 综合分析全线杂散电流的历史分布情况和变化趋势, 为运行维护提供参考依据。全线电气量可进行录波分析, 全面记录列车的轨道电压和杂散电流的变化曲线情况。当不需要单向导通或单向导通回路出现故障时, 可以将隔离开关合闸旁路单向导通

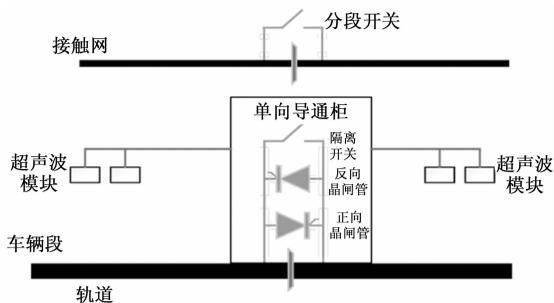


图 2 导通柜设计原理示意图

回路, 直接连接轨道绝缘结两侧, 不影响列车的正常运行。单向导通装置采用正反双向晶闸管, 可以根据现场电压选择是否导通以及导通去向, 增加了使用的灵活性以及可靠性。单向导通装置根据电压来自动导通晶闸管消弧, 可有效防止烧坏导轨。单向导通装置数字化智能化, 具备与电力监控系统的远程数据交换功能。

2.3 主站系统

主站系统实现了一种基于 SOA 模式的数据交互总线, 使系统模块服务化, 拥有较为统一的调用方式, 实现松耦合、跨语言、跨平台, 可以与其他异构系统进行无缝对接^[22-23]。该主站系统实现了视频图像的模式识别, 通过解析实时视频信号, 判断接地开关的实时分合状态, 与硬节点采集信号进行“与”逻辑判断, 提高安全系数。同时, 该主站系统实现了对地铁可视化接地开关操作票的在线管理, 对接地操作进行在线审校和执行, 并提供接地操作全过程仿真演练, 提高安全系数。此外, 该系统可以对全线杂散电流的分布和治理情况进行统一展示, 统一分析, 并实现对地铁全线相关电气量的在线录波分析, 记录列车通过时轨电压和杂散电流的变化情况, 全面掌握地铁沿线电气量的变化和分布规律。

在本技术设计中, 排流柜 DA-SCDD 有手动控制及自动控制两种控制排流方式, 通过转换开关切换。手动控制时, 后台主站发送的遥控命令和监测装置发送的控制命令失效, 只有排流柜面板的启动停止排流按钮能够启动或停止排流。自动控制时, 排流柜面板的启动停止排流按钮失效, 可接收后台主站发送的遥控命令和监测装置发送的控制命令^[24-25]。不管哪种控制方式, IGBT 导通关断的占空比及周期还是由 PLC 自动控制, 启动排流也需要 PLC 检查先决条件才可启动。收到启动排流命令后, 只要条件满足即启动排流, 直到收到停止排流命令, 遥控(调)正确率达 100%。

2.4 数据集采设备

数据采集设备是 SCADA 系统与杂散电流监控系统的直接接口, 它通过与各采集装置的通讯实现对轨道交通实时运行信息采集, 将实时数据提供给应用服务的实时数据库, 并按照应用所下达的指令实现对采集器和排流柜的调控功能^[26]。数据采集子系统作为系统数据源的关键部位, 具有高度的可靠性和强大的信息处理能力, 其原理示意图如图 3 所示。

数据采集设备的各种类型通讯规约的通讯(如 EC60870

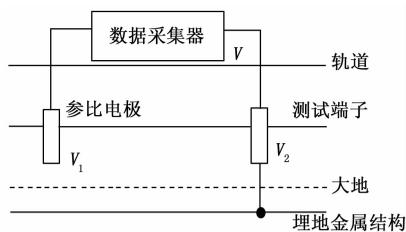


图 3 采集器示意图

-5-104、MODBUS 等)。支持全双工方式通讯, 传输速率 300, 600, 1 200, 2 400, 4 800, 9 600 bps 可选。高速数字通道的传输速率在系统设计上无限制, 主要取决于所购置的采集通讯服务器部件的技术指标, 能够接收处理不同格式的模拟量, 数字量, 并处理为系统要求的统一格式。还能够接收处理终端记录的 SOE 事件信息。实现对采集装置的遥控下行信息。采用单通道或双通道方式收发同一终端数据, 双通道工作时, 可各自使用不同通信模式(数字或模拟通信), 并能根据通道状态判优切换主/备通道, 本研究的系统还能够支持一点多址方式通讯, 具有与 GPS 时钟接口。

3 试验结果及分析

下面对上述技术方案进行试验, 首先搭建硬件平台, 其由埋地式参比电极、测量信号接线盒、数据采集器、监测装置、排流柜、单向导通装置和主站后台等组成。根据《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》CJJ49 的有关规定进行试验。采集节点机选用高性能工程工作站, 从而使数采子系统可直接构筑在统一的应用平台基础之上, 提高对系统运行的管理水平, 加强了对设备运行的监控能力。全套人机界面为 X 窗口/Motif 或 Windows 风格, 交互方便、友好。试验架构示意图如图 4 所示。

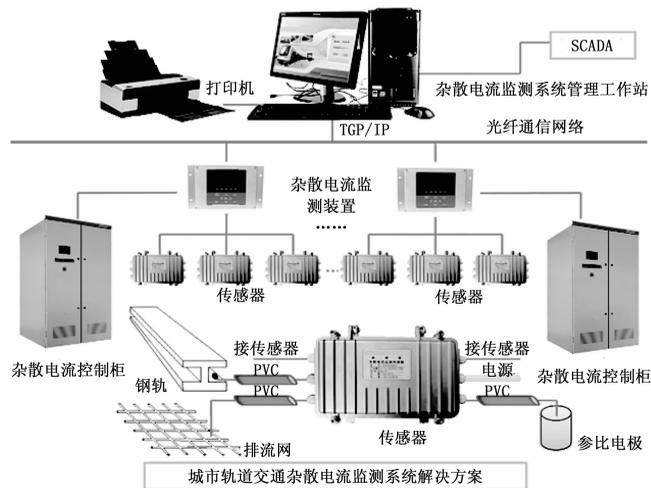


图 4 试验架构示意图

在试验时, 每个设有参比电极处的接线盒, 均有 3 对测量端子, 连接在采集器上, 用于测量参比电极本体电位、排流网极化实时电位、极化电位正向/负向偏移, 及轨道实时电压、轨道当天最大电压等数值。每个有牵引电源负母

排的站点控制室内设有排流柜,用于手动或自动排流功能。在车辆出入线段的绝缘结处设有带消弧功能的单导柜,在通常无车时单导柜的晶闸管断开,切断场段与正线之间的回路,防止场段的杂散电流流向正线;在有车出入时导通晶闸管保证正常行车电流回路,从减少回路通断时间上来减少场段杂散电流对正线的干扰。监测装置收集各个采集器的数据,及排流柜、单导柜的运行状态和电压、电流等数据,并上传给监控系统,同时接受监控系统对排流柜、单导柜的控制命令并下发控制命令,起到监测及控制功能。为便于接线安装,监测装置均安装在排流柜及单导柜柜体中,其带有触摸显示屏,可就在柜体面板上查看各采集器数值,或单导柜中各晶闸管等的状态。

试验时,对直流牵引供电列车运行时泄漏到道床、隧道及其周围土壤介质中的杂散电流进行监测。轨道实时电压示意图如图 5 所示。

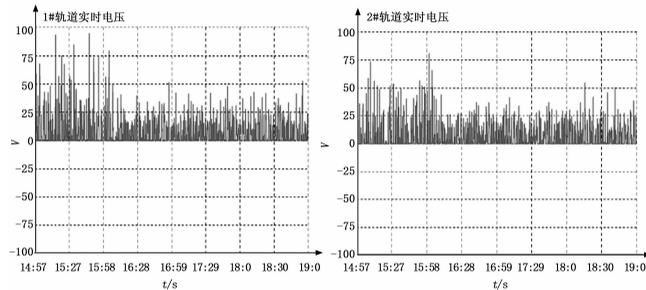


图 5 轨道实时电压示意图

通过上述测定,电压值符合《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》CJJ49 的规定的不高于一 00 V 的要求。绝缘节两端实时电压如图 6 所示。

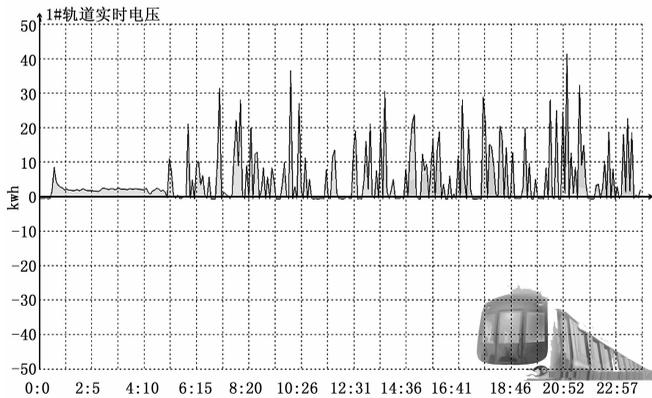


图 6 绝缘节两端实时电压示意图

通过上述测定,绝缘节两端实时电压符合《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》CJJ49 的规定的不高于一 00 V 的要求。采集器极化电位如图 7 所示。

通过上述测定,采集器极化电位压符合《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》CJJ49 的规定的不高于一 000 V 的要求。

通过上述综合分析,智能导通柜、排流柜、钢轨限位

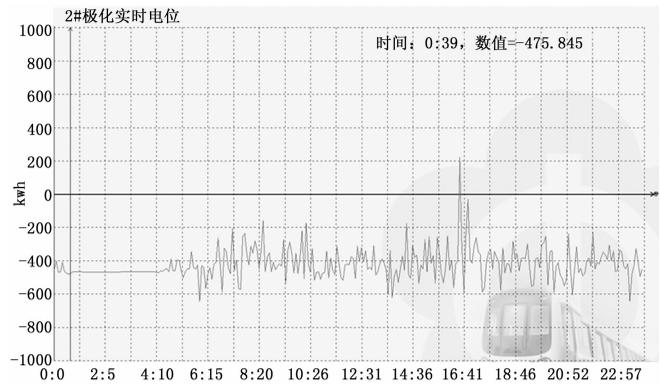


图 7 采集器极化电位

装置在动作时对全线杂散电流的影响均在一定的范围内。通过根据相关标准规定的全线杂散电流控制指标,结合不同设备状态及其与杂散电流系统的耦合情况,上述设计方案符合相关标准规定的要求。

4 结束语

通过上述智能导通柜、排流柜、钢轨电位限制装置实行综合一体化监控,改进原有单一设备监测及控制的算法,结合不同设备状态与杂散电流系统的相关联性,对全线所有站点数据进行分析,达到最佳的杂散电流治理效果,将杂散电流减小到最低限度,有效限制了杂散电流向地铁外部的扩散,降低与消除其不利影响。经过长时间试运行发现,使用新杂散电流防控监测系统后燃气公司参比电极极化电位变化整体平稳,相对老系统运行时燃气公司数据,可以明显发现参比电极数值大幅减小,在 3 月 22 日南京地铁建设责任有限公司试验,参比电极半小时偏移平均值全部都在 70 mV 以内,符合相关标准的规定要求。

参考文献:

- [1] 马德良,方江敏,钱瑶虹.排流网情况下地铁杂散电流分布数值模拟研究[J].机电工程,2017(12):1465-1468.
- [2] 覃慧敏,都业强,吕超,等.埋地管道动态直流杂散电流干扰评估及防护技术的研究现状[J].腐蚀与防护,39(6):409-417.
- [3] 陈耀,严显智,阮建平,等.油气管道地铁杂散电流直接排流技术应用[J].石油化工腐蚀与防护,2017(4):45-47.
- [4] 高玉珍.轨交杂散电流对天然气主干网的腐蚀影响及防护探究[J].上海煤气,2016(2):6-11.
- [5] 徐颢,李代莉.轨道交通直流杂散电流给埋地钢管防腐系统带来的新风险[J].城市燃气,2016(3):12-17.
- [6] 刘军.动态直流杂散电流干扰中极化试片电流测量[J].腐蚀与防护,2016(1):68-70.
- [7] 柯甜甜,方江敏,钱瑶虹,等.地铁杂散电流对埋地金属管道阴极保护的影响[J].城市轨道交通研究,2017(3):90-93.
- [8] 张超.强制排流器在消除埋地金属管道杂散电流干扰中的应用[J].石油库与加油站,2017(3):4-7.
- [9] 韩非.馈电试验在地铁杂散电流干扰排流中的应用[J].腐蚀与防护,2015(11):1101-1103.

[10] 周吉祥. 城镇燃气管道直流杂散电流排流保护 [J]. 煤气与热力, 2015 (4): 38-42.

[11] 王祥辉, 李 威, 许少毅, 等. 一种无热化高灵敏度的杂散电流光纤传感器 [J]. 仪表技术与传感器, 2017 (8): 1-5.

[12] 谢文平. 地铁施工工地试验检测与工程质量探析 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018 (17): 2263.

[13] 袁靖乙. 地铁盾构设备状态故障与检测 [J]. 中国高新技术企业, 2016 (17): 109-110.

[14] 黄 涛, 吕红强, 王 维. 基于多技术融合的地铁列车障碍物检测系统设计 [J]. 制造业自动化, 2016 (8): 59-60.

[15] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 2015 年统计和分析 [J]. 都市快轨交通, 2016 (4): 6-11.

[16] 陈志光, 秦朝葵, 唐继旭. 城市轨道交通动态杂散电流理论分析及计算 [J]. 城市轨道交通研究, 2014 (3): 24-29.

[17] 周云祥, 曹 昉. 基于数据挖掘的变电站监控后台告警信号自动分析 [J]. 工业控制计算机, 2017, 30 (4): 121-122.

[18] 蔡 力, 王建国, 樊亚东, 等. 地铁走行轨对地过渡电阻杂散电流分布的影响 [J]. 高电压技术, 2015 (11): 3604-3610.

[19] 庞 丹, 耿蒲龙, 田慕琴, 等. 矿用橡套屏蔽电缆绝缘不平衡对杂散电流分布的影响 [J]. 煤炭学报, 2017 (6): 1614

-1619.

[20] 安 娜, 吴积钦, 梁 奎. 直流牵引供电系统轨道电位影响因素的分析 [J]. 电气化铁道, 2014 (4): 21-24.

[21] 韩晓慧, 杜松怀, 苏 娟, 等. 触电信号暂态特征提取及故障类型识别方法 [J]. 电网技术, 2016, 40 (11): 3591-3596.

[22] 何 涛, 李培强, 王 璜, 等. 地铁牵引回流系统的钢轨电位和杂散电流仿真 [J]. 福建工程学院学报, 2017 (4): 386-392.

[23] 贺红燕. 基于大数据的智能电网关键技术研究 [J]. 电源技术, 2016, 40 (8): 1713-1714.

[24] Ogunsola A, Mariscotti A, Sandrolini L. Estimation of Stray Current From a DC- Electrified Railway and Impressed Potential on a Buried Pipe [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2012, 4 (4): 2238-2246.

[25] Leonardo Sandrolini. Analysis of the insulation resistances of a high-speed rail transit system viaduct for the assessment of stray current interference. Part2: Modelling [J]. Electric Power Systems Research, 2013, Oct.

[26] Duranceau S J, Johnson W J, Pfeiffer-Wilder R J. A study examining the effect of stray current on the integrity of continuous and discontinuous reinforcing bars [J]. Experimental Techniques, 2011, 5 (5).

(上接第 28 页)

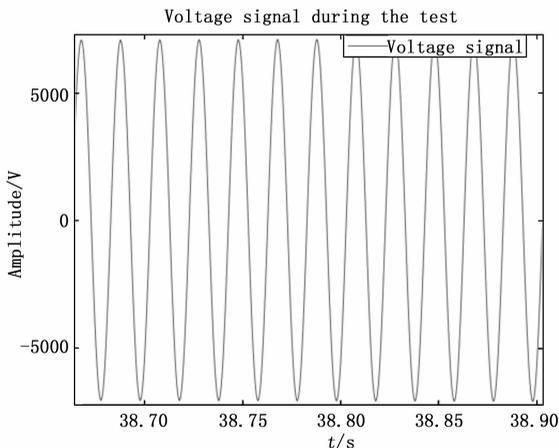


图 13 交流电压输出测试局部放大图

来消除频率响应函数对输出电压在不同频率上的不利影响, 保证了激励信号的精度。在电流检测上, 通过采用温度系数低的高精度电阻将电流转变为电压信号, 然后使用宽频隔离放大器 AD215 对信号进行调理以满足 DAQ 输入的阻抗匹配。实际实验结果表明, 系统不仅拥有常规的直流跟工频检测功能, 也具备在不同频率的电压试验的能力, 适用于对被测物的绝缘性能进行综合性评估, 具有很高的工程应用价值。

参考文献:

[1] 李军浩, 韩旭涛, 刘泽辉, 等. 电气设备局部放电检测技术述评 [J]. 高电压技术, 2015, 41 (8): 2583-2601.

[2] 黄山山, 盛 健, 银星茜, 等. 基于大数据的局放在线监测与

诊断 [J]. 电气化铁道, 2019, 30 (3): 79-81.

[3] 于 雷, 王世杰, 王 鹏, 等. 变压器绕组内部局放超声定位仿真及试验研究 [J]. 绝缘材料, 2019, 52 (6): 72-78.

[4] GB/T 1408.1-2016, 绝缘材料电气强度试验方法 第 1 部分: 工频下试验 [S].

[5] GB/T 1408.2-2016, 绝缘材料电气强度试验方法 第 2 部分: 对应用直流电压试验的附加要求 [S].

[6] GB/T 1408.3-2016, 绝缘材料电气强度试验方法 第 3 部分: 1.2/50 μs 冲击试验补充要求 [S].

[7] 黄志都, 郑东昕, 陈玉材. 感应电场中输电线路绝缘电阻测试 [J]. 广东电力, 2018, 31 (9): 148-152.

[8] 李 鑫, 申舒航, 徐晓刚, 等. 变压器用耐高温改性绝缘纸研究进展 [J]. 广东电力, 2017, 30 (2): 13-21.

[9] 张明泽, 刘 骥, 齐朋帅, 等. 基于介电响应技术的变压器油纸绝缘含水率数值评估方法 [J]. 电工技术学报, 2018, 33 (18): 4397-4407.

[10] 刘 骥, 赵明云, 张明泽, 等. 变压器油纸绝缘老化介电谱特性及特征量研究 [J]. 电机与控制学报, 2018, 22 (11): 67-74.

[11] 罗伟锋, 王纪森, 周 铨. 基于虚拟仪器的电液舵机测试系统 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (8): 14-17.

[12] 朱 熙, 李振伟, 葛哲阳, 等. 真空热试验数字温度测量系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (5): 21-24.

[13] Faifer M, Ottoboni R, Toscani S. A Medium Voltage Signal Generator for the Testing of Voltage Measurement Transducers [A]. I2MTC13-IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Minneapolis, USA, May 6-9, 2013 [C]. pp. 194-199.