

智能变电站在线监测与故障定位系统的改进与应用

陈飞建, 蒋政权, 杨光, 冷贵峰, 王家军, 胡定林

(贵州电网有限责任公司 兴义供电局, 贵州 兴义 562400)

摘要: 随着智能电网的深入应用, 现有的变电站运行状态在线监视系统已无法满足智能变电站, 研发一种新型的智能变电站在线监测及故障定位分析系统; 首先分析智能变电站在线监测及故障定位分析系统的性能要求, 接着针对通信网络背景下的智能变电站在线监测及故障定位分析系统发展要求, 设计了主站和子站的系统结构, 具体分析了主站和子站的软件结构, 最后深入分析了在线监测及故障定位分析系统的数据应用; 现场运行结果表明所研发系统的有效性。

关键词: 智能变电站; 在线监测; 故障定位; 主站; 子站

Improvement and Application of On-line Monitoring and Fault Location System for Intelligent Substation

Chen Feijian, Jiang Zhengquan, Yang Guang, Leng Guifeng, Wang Jiajun, Hu Dinglin

(Ltd. Xingyi Power Supply Bureau, Guizhou Power Grid Co., Xingyi 562400, China)

Abstract: With the deep application of smart grid, the existing substation running status online monitoring system is unable to meet the intelligent substation. A new intelligent substation on-line monitoring and fault location analysis system is developed. Firstly, the performance requirements of intelligent substation on-line monitoring and fault location analysis system is analyzed. And then the system structure of master station and substation is designed for the development of intelligent substation on-line monitoring and fault location analysis system under the background of communication network. The software structure of the master station and the substation is designed later. Finally, the data application of on-line monitoring and fault location analysis system is analyzed. The results of the field operation show the effectiveness of the developed system.

Keywords: intelligent substation; on-line monitoring; fault location; master station

0 引言

随着电网的不断扩展和复杂, 对变电站数据的可靠性、完整性、实时性等的要求日益提高^[1]。特别是随着智能变电站的推广应用, 传统变电站的监测手段已不能适应智能变电站发展要求, 如何对网络通信下的智能变电站实时监测、状态评估和预警成为智能变电站开展状态检修的依据, 是当前变电站自动化提高运行管理水平迫切需要解决的课题^[2]。

1 现状分析

智能变电站运行状态在线监视系统主要通过对变电站二次系统网络的实时监测, 从而可以快速地定位故障设备部位和异常问题, 大幅度减少智能变电站的维护生产成本。由于对智能变电站的故障能进行预判, 极大的减少了智能变电站硬件设备的故障发生率, 延长了智能变电站寿命^[3]。

通过提高智能变电站故障判断分析能力, 能更好地判断故障点, 避免了需停用智能变电站才能判断故障点的情况, 从而大幅度地提高故障处理能力, 避免重复性故障的出现。同时, 通过对智能变电站故障的预警, 能极大地减少智能变

电站故障出现几率, 把故障消除在萌芽状态, 有效地减少了智能变电站故障引起的停电处理以及事故发生。高效的智能变电站在线监测与故障定位系统, 能有效地保障电网的安全稳定运行, 减少智能变电站故障引起的损失, 产生大量的间接经济效益。

智能变电站运行状态在线监视系统, 依赖于变电站内网络报文记录与分析装置提供技术支持。网络报文记录与分析装置的主要作用是记录通信节点的通信过程, 以记录文件的方式保存在网络报文记录与分析装置本地, 待发现通信故障后从本地分析系统调取相关记录文件进行分析。

但是现有的网络报文记录与分析装置存在一定的局限性和不足。首先, 装置必须安装于变电站站内, 发现通信故障后, 需要到当地去取相关的记录文件, 耗时耗力, 不方便, 效率低; 第二, 在每个变电站的记录信息不能共享, 记录数据量大, 分析复杂, 数据利用率低, 造成极大的浪费^[4]。

随着网络报文记录与分析装置逐步深入使用, 现有的在线监视系统, 无法高效地管理这些网络通信记录装置和记录文件, 提高工作效率, 缩短工作流程, 特别是智能变电站的普及, 网络安全的重要性日益凸现^[4], 亟需研发一套系统可以长期在线监测变电站自动化系统的网络通信和智能变电站的实时工作情况。

收稿日期: 2017-09-27; 修回日期: 2017-11-08。

作者简介: 陈飞建(1980-), 男, 江西上饶人, 大学, 工程师, 主要从事电力系统继电保护方向的研究。

2 系统结构

针对变电站现有的智能变电站在线监测及故障定位分析能力不足以适应智能电网发展需求, 本文结合当前电力信息系统所采用的层次化结构特点, 分别从主站和从站两个关键节点, 研发一种新型的智能变电站在线监测及故障定位分析系统。

所研发的系统对智能变电站实现全方位测控, 除了实现智能变电站运行状态的远方可视化监测, 还可以实现定值、配置参数等数据的采集、上送、展示、存储及查询、告警、故障定位与分析等功能^[5]。

调度中心作为电力系统二次系统核心, 通过通信网络与远方的各个变电站进行信息交互, 因此, 调度中心作为电力系统二次系统的主站, 各个变电站作为子站。以 1 套主站系统和 2 个子站的系统为例, 电力系统二次系统的架构如图 1 所示。

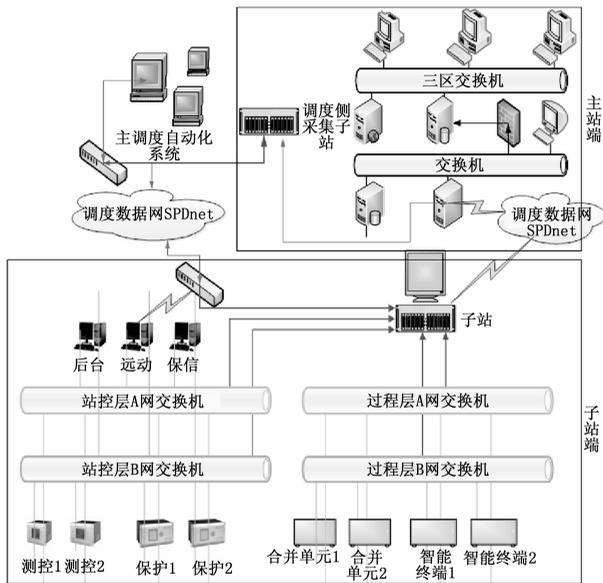


图 1 系统架构示意图

主站端通过采用基于 SVG 图形建模方式, 以大量图形化的直观界面, 实时显示各个子站端上传的告警、错误和预警情况, 并根据通报数据对整个通信网络进行评估; 主站端支持 WEB 功能, 支持提取通信数据进行详细的离线分析, 适用于管理、运行和检修人员, 将缺陷或异常与检修策略关联, 以方便用户进行故障的处理。

子站端对智能变电站实时监测, 对状态监测信息进行采集处理、分析归纳、展示利用等电力数据服务, 实现变电站端站内智能变电站的状态监测、智能变电站可视化综合管理, 将全站状态监测数据依托现有的远动通道或独立通道实时上送到主站, 响应远方命令, 完成远方召唤服务。

2.1 主站系统结构

主站的前置通信服务器完成电力在线监测数据的收集功能, 通过调度数据网 SPDnet 等电力专用通信网络^[6], 接收来自于各个子站的监测信息。为了保障电力信息安全, 根据电力

二次系统安全防护的总体方案, 在主站设立了安全 II 区和安全 III 区, 并严格执行“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的规定^[7], 如图 2 所示。

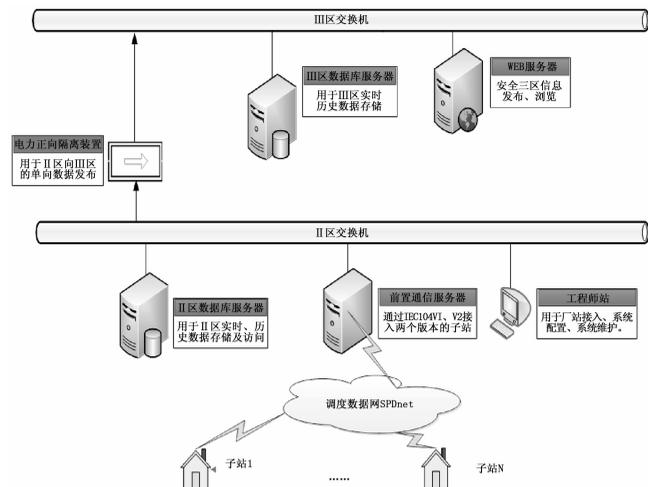


图 2 主站系统网络架构示意图

II 区数据库向 III 区数据库同步实时和历史数据时, 支持数据缓存机制, 只有确认服务端已经接收到这些请求后, 才将其从缓存文件中删除; 如果在发送这些请求报文的过程中网络通讯或者数据处理服务器发生故障, 客户端接口会持续缓存请求报文, 当数据通讯恢复正常后, 客户端程序接口会逐步将缓存的数据重新发送到客户端, 从而能够保证提交数据在故障过程中不丢失。

2.2 子站系统结构

子站系统通过采集 IEC 61850 标准规定的三层两网体系中所有通信过程外^[8], 还包括了远动主机到调度主站的 IEC104 通信的监视与分析, 如图 3 所示。

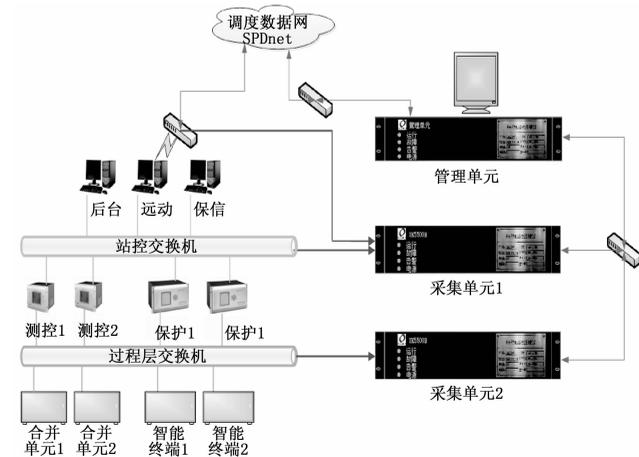


图 3 子站数据采集示意图

在线监测的网络包括站控层网络和过程层网络, 纳入在线监测的智能变电站包括:

- 1) 站控层设备 (监控主机、远动通信机、站控层交换机);
- 2) 间隔层设备 (测控装置);

3) 过程层设备 (合并单元、智能终端、过程层交换机); 间隔层、站控层智能变电站在线监测信息直接上送至智能变电站在线监测子站。

过程层智能变电站在线监测信息由采集设备 (即采集终端) 采集后上送至智能变电站在线监测子站。

智能变电站在线监测子站负责汇集全站智能变电站在线监测信息, 并将在线监测信息上送主站。

3 软件结构

3.1 主站软件

在线监测主站采集智能变电站运行的关键信息, 实现智能变电站的在线监视、异常分析、状态评价和集中管理^[9]。包括了系统软件、支撑软件和应用软件 3 个主要部分。

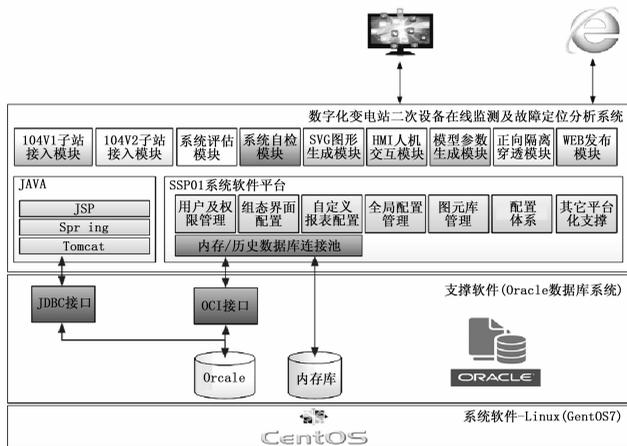


图 4 主站系统软件架构示意图

系统软件采用开源软件 Linux 系统, 既能充分利用 Linux 对应用软件的良好支持, 又能避免专用商业软件的技术上的封闭性和安全上的不可控性。支撑软件采用 Oracle 大型数据库, 可以高效处理从各个子站汇集过来的大量运行数据, 并通过 JDBC 和 OCI 接口, 为上层的应用软件提供数据来源。

考虑 JAVA 具有良好的扩展性, 可灵活跨平台应用, 采用 JAVA 进行主站应用软件开发。同时由于 SSP01 系统软件平台提供丰富的应用接口, 包括用户及权限管理、组态界面配置、自定义报表管理、全局配置管理、图元库管理、配置体系等内容, 应用 SSP01 系统软件平台将大幅降低应用软件开发难度。

应用软件直接展现给用户具体功能, 智能变电站运行状态在线监视系统主要包括子站接入模块、系统评估模块、系统自检模块、SVG 图形生成模块、HMI 人机交互模块、模型参数生成模块、正向隔离穿透模块和 WEB 发布模块等核心内容。重点介绍 SVG 图形生成模块和 WEB 发布模块两个技术开发难点。

SVG 作为可缩放矢量图形, 具有任意缩放、文本独立、较小文件、超强显示效果、超级颜色控制、高交互性和智能化的特点, 可加强智能变电站运行状态在线监视系统的显示效果。采用 SVG 作为图形显示格式, 能够直观方便的描述出二次回路的连接信息及状态。

Web 发布子系统采用跨平台、高性能、可伸缩的 JAVA 技术构建, 应用 MVC 架构对 WEB 系统进行分层设计。

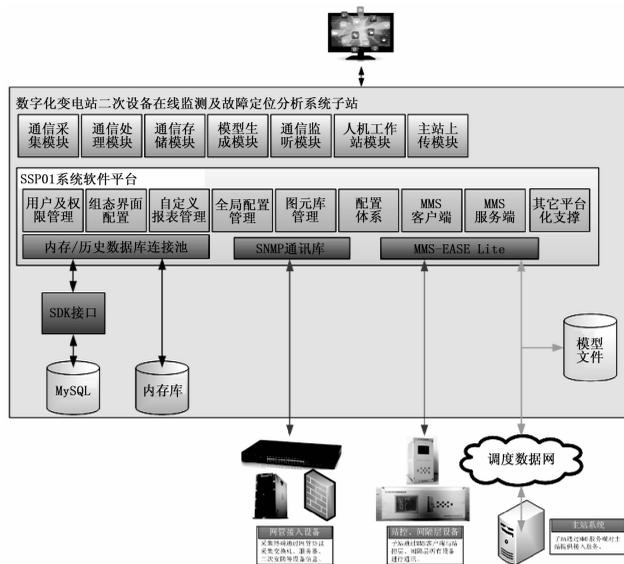


图 5 子站软件架构示意图

3.2 子站软件

子站通过 SNMP 通信库与网管接入设备互连, 并通过 MMS-EASE Lite 提供的 IEC61850 通信库与站控、间隔层设备交换信息^[10], 并通过调度数据网与主站系统联系。

相对于主站采用 Oracle 大型数据库汇集多个子站信息, 单个子站的数据量相对较小, 因此采用方便易用的 MySQL 小型数据库, 并通过 SDK 接口向上层提供应用数据。

子站也采用 SSP01 系统软件平台, 利用 SSP01 系统软件平台所提供丰富的应用接口, 降低应用软件开发难度。子站软件主要完成通信功能, 包括通信采集模块、通信处理模块、通信存储模块、通信监听模块, 还涉及模型生成模块、人机工作站模块和主站上传模块等。

4 数据分析

电力二次系统数据信息是智能变电站运行状态在线监视系统的基础, 但由于电力运行现场涉及多个不同类型的系统和设备, 所采用的软件和硬件也不完全一致, 导致所提供的数据电力二次具有多态化、多样化和复杂化特征^[11-12]。

结合智能变电站结构特点, 对电力二次系统数据信息进行梳理和分析, 如图 6 子站信息数据图所示。具体包括:

1) 站控层设备信息: 站控层设备 (含数据通信网关机、服务器等设备) 采集信息主要包括: CPU 占有率、内存占用率、硬盘剩余空间、网络接口及通道通断、电源工况、关键进程运行状态等。

2) 间隔层设备状态: 间隔层设备 (含测控装置等) 采集信息主要包括: 硬件异常信息 (采样出错、ROM 出错、RAM 出错、开出接点异常等)、内部通讯异常信息、配置异常信息 (定值、压板、配置文件等)、监视到的二次回路异常等。

3) 过程层设备状态: 过程层设备 (合并单元) 的采集信息主要包括: 硬件异常信息 (采样出错、ROM 出错、RAM 出错、开出接点异常等)、内部通讯异常信息、配置异常信息

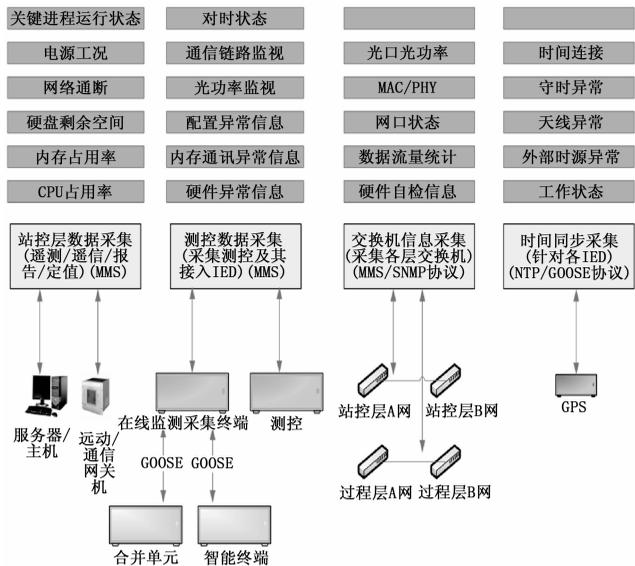


图 6 子站信息数据图

(定值、压板、配置文件等)、光功率监视、光强越限、通信链路监视、对时状态监视等。

过程层设备状态信息通过 GOOSE 发送给在线监测采集终端, 在线监测采集终端送至子站。

4) 公用设备状态:

(1) 交换机状态。交换机状态信息包括硬件自检及设备外设自动状态监测信息, 具体包括: 内存, Flash, EEPROM, RTC, MAC/PHY、数据流量统计、网口状态等。

(2) 二次安防设备状态。对于硬件防火墙、隔离装置等无软报文输出设备, 通过硬结点的方式采集电源告警信号。如果硬件防火墙、隔离装置支持 SNMP 协议, 宜可通过 SNMP 的方式采集内部告警、运行工况信息^[13]。

(3) 电源设备状态。电源设备(直流屏、UPS、通信电源、一体化电源)采集的状态信息主要包括电源的工作状态和告警信息。

(4) 时钟设备状态。时钟设备状态信息主要包括工作状态和外部时源、天线、守时、时间连续等异常状态信息^[13]。

针对智能变电站三层两网以及调度数据网中所有通信协议的特点, 对数对智能变电站根据智能变电站模型中的通信特征, 精确提取特征点, 将所有不同协议的不同通信链路归档为状态量、事件量和统计量三类结果信息, 每一类信息中抽象对应的信息点, 如图 7 所示, 形成中心监测状态评估支撑数据, 并放入相应的实时数据库和历史数据库。从而完成抽象化模型配置和解析工具, 并依据智能变电站模型不断的完善^[14]。

5 现场应用测试

所研发一种新型的智能变电站在线监测及故障定位分析系统, 已在地市供电局得到了应用。通过调度中心的主站与多个智能变电站的子站信息交互, 完成智能变电站运行状态在线监视系统功能及其展示的直观界面, 形成了较为完善的智能变电站运行状态在线监视系统, 分别介绍主站系统和从站系统的现场运行情况。

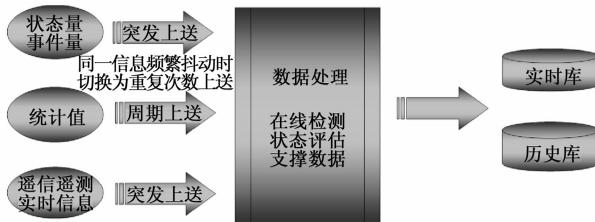


图 7 数据处理示意图

5.1 主站系统

调度中心通过电力专用网络, 汇集该地市供电局所管理的各个变电站的工况信息, 主站可以直观地显示各个子站的智能变电站在线监测及故障定位分析情况。

主站系统工况界面左侧列表罗列各个子站的总体统计情况并以图形形式直观呈现所占据的比重, 界面右侧为各个子站的具体情况, 包括变电站名称、得分和统计分析时间等属性, 现场运行人员通过该主站系统工况图, 在初步掌握各个变电站整体情况基础上, 还可以进入到各个子站的分析界面, 进一步掌握各个子站的细化信息。

主站通过网络监视界面, 可以观察通信网络方面的监控信息, 包括通信业务状态、通信链路状态和网分自检状态等信息, 通过不同的指示灯以直观地形式展现当前各个子站的网络监视情况, 并能对相关的网络故障进行准确定位。

自动设备在线监测主站系统
历史告警分级告警汇总表

所属厂站	装置名称	影响级别	事件数量
测试运维子站01	FCR-851B/G-R2测控装置	失效	1
测试运维子站01	FCR-851B/G-R2测控装置	视触	2
测试运维子站01	JZKJ5911CAM	失效	1
测试运维子站01	JZKJ5911CAM	故障	91
测试运维子站01	JZKJ5911CAM	视触	23
测试运维子站01	保护测控	失效	214
测试运维子站01	保护测控	故障	5785
测试运维子站01	保护测控	视触	254
测试运维子站01	单元测控装置	故障	84
测试运维子站01	单元测控装置	视触	44
测试运维子站01	在线监测子站	视触	941
测试运维子站01	服务器	告警	14
测试运维子站01	服务器	视触	2
测试运维子站01	测控装置1	故障	60
测试运维子站01	测控装置1	视触	4
测试运维子站01	线路测控测控CS120DE	视触	6
测试运维子站01	自动化设备在线监测子站	告警	2
测试运维子站01	自动化设备在线监测子站	视触	19

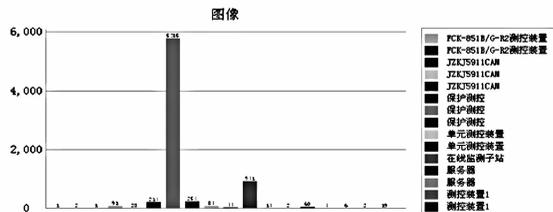


图 8 事件统计示意图

由于电力信息流具有突发性的特点, 主站需要收集多个子站的信息, 对主站的通信和数据处理能力提出了严格要求^[15-16]。对子站进行如下的典型测试, 以深入分析子站性能。

测试 PC 采用 Intel 酷睿 2 双核 2.5 G、2 G 内存、7 200 转硬盘; 批量顺序提交数据处理事件数为 100 000 个标签, 每个标签每次批量提交 100 个数据; 大约每秒 300 万事件, 逐点顺序提交数据。

测试结果通过分析 CPU 使用率, 表明 CPU 和硬盘是性能瓶颈, 这表明提升 CPU 和硬盘的性能指标, 基于分布式的海

量实时历史数据库的上述两项测试指标应会有较大提升空间。

5.2 子站系统

子站系统功能相对简单，主要显示该智能变电站的现场运行情况和各个设备的具体信息，变电站的事件查询结果以表格形式体现，并支持结果的打印、导出等进一步操作。

子站的智能变电站在线监测及故障定位分析系统，也支持完整的在线监测和故障分析功能。图 8 所示为智能变电站告警事件的统计功能，并自动按告警事件的影响级别进行统计，统计结果能以表格柱形图表的方式进行直观显示。

6 结论

针对变电站现有的智能变电站在线监测及故障定位分析能力不足以适应智能电网发展需求，研发了一种新型的智能变电站在线监测及故障定位分析系统。通过对智能变电站网络通信及智能变电站状态进行在线监测及预警评估，该系统能提高电网的安全性和可靠性，从而将运行管理水平提高到一个新的层面。

参考文献：

[1] 李妍, 车勇, 单强, 等. 智能变电站二次系统在线监测评估的研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44 (10): 65-70.

[2] 刘益青, 高厚磊, 李乃永, 等. 适用于站域后备保护的智能变电站站间信息传输方案 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43 (2): 96-102.

[3] 刘井密, 李彦, 杨贵. 智能变电站过程层交换机延时测量方案设计 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43 (10): 111-115.

[4] 汪强, 徐小兰, 张剑. 一种新的智能变电站通信业务安全隔离技术的研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43 (17): 139

-144.

[5] 徐丙垠, 薛永端, 李天友, 等. 智能配电网广域测控系统及其保护控制应用技术 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36 (18): 2-9.

[6] 浮明军, 刘昊昱, 董磊超. 智能变电站继电保护装置自动测试系统研究和应用 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43 (1): 40-44.

[7] 王智东, 王钢, 黎永昌, 等. 基于微型加密算法的 IEC61850-9-2LE 报文加密方法 [J]. 电力系统自动化, 2016, 40 (4): 121-127.

[8] 杨贵, 吕航, 袁志彬, 等. 智能变电站过程层网络流量控制和同步方法研究与实现 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43 (11): 70-74.

[9] 刘建锋, 张剑, 刘同银. 智能变电站数字化保护实时闭环测试系统 [J]. 电力科学与工程, 2015, 31 (12): 22-28.

[10] 王智东, 王钢, 许志恒, 等. 一种改进的 GOOSE 报文 HMAC 认证方法 (英文) [J]. 电网技术, 2015, 39 (12): 3627-3633.

[11] 陈国炎. 广域后备保护原理与通信技术研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.

[12] 黄灿, 肖驰夫, 方毅, 等. 智能变电站中采样值传输延时的处理 [J]. 电网技术, 2011, 35 (1): 5-10.

[13] 王智东, 王钢, 童晋方, 等. 智能变电站的密钥管理方法 [J]. 电力系统自动化, 2016, 40 (13): 121-127.

[14] 徐光福, 张春合, 严伟, 等. 基于 EPON 通信的智能配电网馈线差动保护 [J]. 电力系统自动化, 2014, 38 (2): 91-96.

[15] 陈晓杰, 徐丙垠, 陈羽, 等. 配电网分布式控制实时数据快速传输技术 [J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44 (17): 151-158.

[16] 王业, 陆于平. 一种抗通信延时及丢包的差动保护算法 [J]. 电力系统自动化, 2014, 38 (4): 92-97.

(上接第 15 页)

由图 13 分区所电压频谱分布图可以得到分区所的谐波电压在 50 次以内的谐波频次以及与之相对应的谐波含有率。3 次、5 次、7 次、9 次、11 次、13 次、15 次、17 次、19 次、21 次、25 次、27 次、31 次的谐波电压含有率分别为：0.630 7%、1.137 5%、0.664 1%、0.746 2%、0.752 2%、0.409 2%、0.624 0%、0.455 9%、1.012 1%、0.727 2%、0.665 0%、0.316 3%、0.512 9%。由频谱分布图形可以看出，分区所电压在这一区段，3~21 次内 25~27 次，31~33 次谐波含量比较突出。

3 结论

1) 通过对牵引变电所母线电压、馈线电流和分区所电压的同步测试，计算了谐波电压和电流分布频谱。得知该供电区段低次谐波和高次谐波含量较丰富，证明了交直交型电力机车的运用较为普遍。

2) 高次谐波电流主要集中在 15~25 次和 35~45 等频段，造成谐波电压在该供电区段也较为突出。

3) 分区所谐波电压畸变率普遍高于牵引变电所母线谐波电压畸变率，证明若安装高次谐波滤波器，建议安装在分区所位置效果将更好。

参考文献：

[1] 冯金柱. 世界电气化铁路的发展 [J]. 电气铁道, 2001 (4): 1-7.

[2] 刘育权, 吴国沛, 华煌圣, 等. 高速铁路牵引负荷对电力系统的影响研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39 (18): 150-154.

[3] 那广宇, 王璐. 电气化铁路供电系统及其对电力系统的影响 [J]. 东北电力技术, 2011, 32 (11): 13-18.

[4] 赵朝蓬, 田旭东. 交直交电力牵引谐波的影响与改进 [J]. 电气化铁道, 2010, 21 (03): 6-8.

[5] 甄霞. 电力系统谐波检测技术的现状与发展趋势 [J]. 电工电气, 2012 (3): 1-4.

[6] 吕晓琴, 章春军, 张秀峰. 电气化铁道负序、谐波及无功电流实时检测 [J]. 电力自动化设备, 2008, 28 (12): 84-87.

[7] 樊春雷, 续建国, 吴广宁, 等. 地铁谐波的测量与仿真分析 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21 (03): 115-120.

[8] 朱学军, 陈昭荣. 电气化铁道牵引供电系统谐波抑制浅析 [J]. 重庆工业高等专科学校学报, 2002 (04): 54-56.

[9] 陈民武, 宫衍圣, 李群湛, 黄文勋. 电气化铁路电能质量评估及新型控制方案研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40 (16): 141-147.

[10] 李建华, 夏道止. 铁道电气化在电力系统中引起的谐波计算方法 [J]. 电力系统及其自动化学报, 1993 (01): 10-19.