

基于 IEC 61850 的配网成套开关状态监测系统研制

齐昕¹, 张育臣², 唐喜³, 孟岩³, 陈浩¹, 陈莉¹, 范廷东³

(1. 天津城南供电公司, 天津 100085; 2. 东南大学电气工程学院, 江苏 南京 211189;
3. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085)

摘要: 为提高配网自动化资产管理水平, 针对配网成套开关, 研制出一种基于 IEC 61850 的状态监测系统。系统由就地传感器网络、状态监测 IED(智能电子设备 Intelligent Electronic Device, 以下简称 IED)、状态监测诊断系统组成, 对配电成套开关设备的机械特性、热特性、绝缘特性进行监测、分析和诊断。状态监测系统遵循 IEC 61850 第二版状态监测逻辑节点建模, 对内、对外通信采用 IEC 61850 标准通信服务, 做到与配网自动化系统无缝结合, 可与配电自动化终端(Distribution Terminal Unit, DTU)、配网自动化信息互动。实际工程应用效果表明, 监测系统是有效和实用的, 可对配网设备提出维护建议, 极大减轻维护人员的负担, 为配网馈线自动化、自愈功能提供一次设备状态信息, 从而加快智能配电网建设。

关键词: IEC 61850; 配网; 开关; 状态监测; IED; 传感器; 配网自动化

Development of distribution network switchgear condition monitoring system based on IEC61850

QI Xin¹, ZHANG Yuchen², TANG Xi³, MENG Yan³, CHEN Hao¹, CHEN Li¹, FAN Tingdong³

(1. South City of Tianjin Electric Power Company, Tianjin 100085, China; 2. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China; 3. Beijing Sifang Automation Co., Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: A condition monitoring system for distribution network switchgear and controlgear assemblies is established in order to support the asset management of distribution network. The system is composed of the sensors, condition monitoring intelligent electronic device (IED) and the diagnostic platform. The monitoring items include mechanical characteristics parameters, thermal characteristics parameters and insulation condition parameters of switchgear and controlgear assemblies. The second version of IEC 61850 communication protocol is applied to build each condition monitoring logical node model. The monitoring system could also be seamlessly integrated with power automation system of distribution network, and interact with distribution terminal unit (DTU) and power automation system. Maintenance suggestions from the monitoring system would help power utility asset managers to make right maintenance decisions. Switchgear condition information could also be useful for improving the feed line automation and self-healing control functionalities of distribution network.

Key words: IEC 61850; distribution network; switchgear; condition monitoring; IED; sensor; distribution network automation

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2015)06-0109-06

0 引言

随着近几年智能配电网的建设, 配电网规模在不断扩大, 配网设备的增多给配网资产管理与维护提出了更高的要求^[1]。配网设备维护工作量与供电可靠性、运检人员紧缺的矛盾日益突出, 现有的人力、物力难以满足配电设备的维护需求, 传统定期

检修、预防性试验模式已不满足要求, 急需向状态检修转型, 因此配电网状态检修在线监测技术显得尤为重要。以往变电站也有在线监测系统, 但传统意义上的在线监测信息不统一、通信协议不标准, 通信方式多样化, 监测系统、设备厂商多样化, 用户及系统界面不统一, 成为一个个信息孤岛, 无法进行信息互动及高级应用, 为了解决互操作问题,

不同厂商大多采用规约转换装置, 增加建设费用, 而且信息转换环节的增加会造成信息损失。本文在借鉴智能变电站设备状态监测的基础上, 结合配网系统自身特点, 提出基于 IEC 61850^[2-3]面向配网开关设备的状态监测系统, 并在如下几个方面有所创新:

- 1) 实现监测 IED 具备就地分析功能;
- 2) 实现监测 IED 与 DTU 进行信息互动, 配网状态监测系统可与配网自动化系统进行信息互动;
- 3) 现对监测 IED 功能整合, 降低工程实施成本;
- 4) 整套系统采用 IEC 61850 通信协议, 提高系统开放性、互操作性。

1 系统概述

考虑到配电设备与变电设备运行场合、设备成本等差异性, 与变电设备状态监测系统相比, 配网开关设备状态监测系统应该更加紧凑、监测功能高度集成、传感器网络统一布置、能与 DTU 及配网自动化系统信息互动。

综合上述几方面因素, 系统总体结构示意图如图 1 所示, 右边框图内配网自动化系统、DTU 为传统配网部分。除此之外, 左边框图为新增加的配网状态监测系统部分, 系统由三部分组成: 就地传感器网络、状态监测 IED、状态监测诊断系统。其中, 就地传感器网络作为配网开关的感知部分, 安装在配网开关本体上, 包括机械特性感知传感器(行程传感器、电流传感器等)、热特性感知传感器(触头测温传感器、电缆接头测温传感器、母排温度传感器等)、绝缘特性感知传感器(SF₆传感器、暂态对地电压(Transient Earth Voltage, TEV)传感器、特高频(Ultra High Frequency, UHF)传感器等); 状态监测 IED 作为数据处理单元, 对配网开关按照 IEC 61850 第二版进行建模, 对传感器感知信息进行采集、处

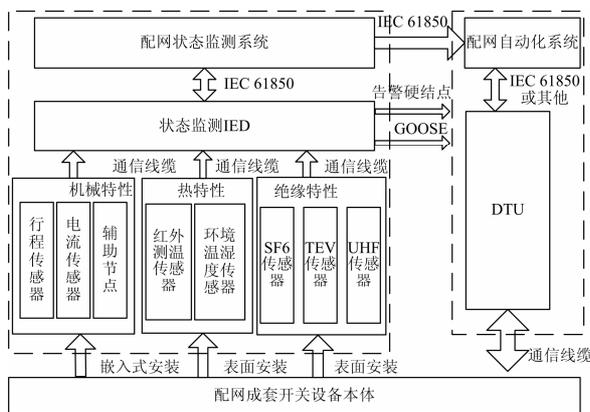


图 1 系统结构示意图

Fig. 1 Sketch map of system structure

理, 对配网开关运行状态进行预诊断, 将配网开关运行状态信息、预诊断报告、预诊断原始波形数据信息通过 IEC 61850 上送至状态监测后台, 同时可以将配网开关预警信息可通过硬结点、面向通用对象的变电站事件(Generic Object Oriented Substation Events, GOOSE)信息与 DTU 互动; 状态监测诊断系统作为配网开关运行状态的综合诊断系统, 对配网开关状态进行综合评估及状态可视化, 可通过 IEC 61850 或 104 规约与配网自动化信息系统互动, 为配网馈线自动化、自愈功能提供一次设备状态信息。上述系统的有效结合可以完成配电开关机械特性、热特性、绝缘特性的综合监测。

2 就地传感器网络

为如实掌握配网开关的运行状态, 需要在配网开关上加装必要的传感器, 考虑到运行成本问题, 加装的传感器应该统一布置, 统一考虑安装位置; 考虑到运行风险问题, 加装的传感器尽量不要改变开关本体结构, 在兼并性能指标的同时, 能外置的传感器不要内置。

监测配网开关的机械特性, 需要在开关操动机构上加装光栅角位移传感器, 通过状态监测 IED 计算开关每次动作的行程、时间、速度等信息, 行程传感器与监测 IED 数据接口为 RS422 或 4~20 mA, 数据采集方式为实时采样。在开关的分合闸回路、储能电机操作回路, 加装穿心式电流传感器, 可监测线圈、储能电机的电流和时间信息, 电流传感器与监测 IED 数据接口为高速 485 通信, 数据采集方式为实时采样。

监测配网开关的热特性, 需要在开关动静触头、母排、电缆接头处安装被动式红外测温传感器, 通过判断红外波长来确定测点温度, 从而监测上述位置的温度变化信息, 测温传感器与监测 IED 数据通信方式为 RS485, 数据采集方式为 MODBUS 规约通信。

监测配网开关的绝缘特性, 需要在充有 SF₆ 的气室加装 SF₆ 传感器, 完成 SF₆ 气体温度、压力、密度、湿度的监测, SF₆ 传感器与监测 IED 数据通信方式为 RS485 或 4~20 mA, 数据采集方式为 MODBUS 规约通信或实时采样。同时监测配网开关的绝缘特性还可以加装 TEV、UHF 传感器, 通过地电波、超高频监测原理监测配网开关的局部放电信息, 上述两种传感器可以统一布置在成套开关的合适位置, TEV、UHF 传感器与监测 IED 连接方式为高频电缆, TEV 传感器内置放大器和信号调理功能, 数据采集方式为高频信号高速采样方式。

3 状态监测 IED

根据多年配网开关故障统计信息来看, 配网开关故障问题较多的出现在机械系统故障, 温度过高导致的故障, SF₆ 气体压力、温度不满足条件引起的故障(仅限于采用 SF₆ 为绝缘介质的开关), 以及局部放电引起的故障。因此本文提出的状态监测系统主要分析机械特性监测、热特性监测、绝缘特性监测。状态监测 IED 采用嵌入式网络平台, 如图 2 所示, 通过装置内不同功能组件接入相应的传感器, 从而完成相应的监测功能。监测 IED 结构示意图如图 2 所示, 采用网络化、模块化、积木化设计, 包括信息管理组件、操动机构监测组件、高频信号处理组件、直流监测组件、485 监测组件、开出组件、开入组件、指示灯组件、GOOSE 组件, 各组件之间以及各组件和信息管理组件之间通过监测 IED 内部以太网、CAN 网和 1588 总线连接。

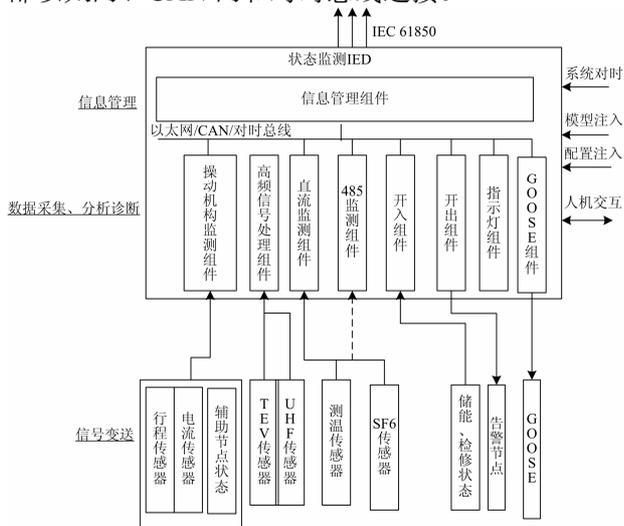


图 2 监测 IED 结构示意图

Fig. 2 Sketch map of monitoring IED

操动机构监测组件包括数据采集 CPU 和分析诊断 CPU, 其中数据采集 CPU 连接行程传感器、电流传感器和开关的辅助节点相连, 用于完成开关行程信号、电流信号、位置信号的同步采集, 形成原始采样值, 通过共享内存方式与分析诊断 CPU 进行通信, 分析诊断 CPU 实时分析采样值, 形成诊断报告。

高频信号处理组件包括高频信号调理模块、FPGA(现场可编程门阵列 Field Programmable Gate Array, 以下简称 FPGA)采集模块、DSP(数字信号处理 Digital Signal Processing, 以下简称 DSP)数据处理模块, 其中高频信号调理模块对 UHF 超高频信号进行调理(滤波、放大、检波等), 通过 FPGA 进

行高速采样, 然后传输给 DSP 进行数据分析、处理, 形成局放采样值、测量量数据、局放图谱。

直流监测组件与数据输出方式为 4~20 mA 的温度、湿度传感器(如红外测温传感器、SF₆ 传感器等)相连, 采集反映配网开关运行工况的温度和湿度信号。

开入组件连接远方复归开入信号、装置检修开入信号、储能状态开入信号, 用于监测开关操作机构的储能状态和检修状态。

GOOSE 组件以数字式报文形式发送配网开关运行状态异常告警信息, 与 DTU 互动。

开出组件以开出节点方式反映配网开关运行状态异常告警信息, 与 DTU 互动。

485 监测组件与数据输出方式为 485 的温度、湿度传感器(如红外测温传感器、SF₆ 传感器等)相连, 采集反映配网开关运行工况的温度和湿度信号。

指示灯组件监测 IED 以及配网开关本体运行、告警状态指示功能。

信息管理组件通过 IEC 61850 协议与状态监测后台通信, 将配网开关状态信息、行程曲线、局放曲线等信息反映到监测后台系统, 同时对监测 IED 内各监测组件进行配置管理。

3.1 机械特性监测功能

监测 IED 的机械特性监测功能主要包括断路器动作特性监视和机械故障分析、断路器触头机械寿命、机构储能监测等, 实现断路器在线自动检测, 具有异常自动报警等功能。

1) 行程监测

安装光栅位移传感器在开关操动机构内触头连杆的拐臂或连杆, 将行程传感器的差分脉冲数据线或者 4~20 mA 模拟量数据线接入监测装置内操动机构监测组件的端子上, 通过检测光栅角位移传感器或直线位移传感器的数据变化, 可间接或直接测得触头运动行程曲线, 根据行程曲线计算分合闸时间、行程等数据。

2) 分合闸线圈电流监测

将装有霍尔元件的电流采集前置单元安装在断路器操动机构箱内的导轨上, 将断路器分合闸回路的电流线穿过霍尔元件孔, 通过 485 通信电缆, 一端连接电流采集前置单元, 另一端连接监测装置的操动机构监测组件, 电流采集前置单元实时采集霍尔元件线圈电流, 并与操动机构监测组件通信, 操动机构监测组件完成 485 数据包的校验、解码, 作为采样值输入断路器动作判断逻辑判断模块。提取分合闸线圈电流采样值中的峰值、有效值参量, 通过操动机构组件内存储的定值、配置信息, 对电磁

线圈的好坏做出判断,一定程度上可以弥补位移传感器无法安装的不足。

3) 储能电机监测

监测 IED 内的储能电机电流监测同样采用霍尔元件,与分合闸线圈电流监测所用到的霍尔元件一同安装在电流采集前置单元上,完成一体化设计,节省操动机构内安装空间,电流采集方式与分合闸线圈电流采集方式一样,通过高速串口完成储能电机电流采样。操动机构监测组件通过储能电机电流实时采样,计算出电机启动最大冲击电流、运行电流、运行时间等参数,从而判断储能系统是否存在电机空转、卡转等情况的发生。

3.2 热特性监测功能

配网开关内导电连接处是最薄弱环节之一。因电磨损、机械操作和短路电动力引起的机械振动等原因,可使接触条件恶化,接触电阻增加,引起接触点的温度升高,加剧接触表面的氧化,导致局部熔焊或接触松动处产生火花。

红外测温可以不接触目标而通过测量目标发射的红外辐射强度计算出物体的表面温度,通过在电缆接头、开关动静触头、母排上布置相应的非接触式红外测温传感器,测温传感器通过 4~20 mA 与监测 IED 内直流组件连接,监测 IED 实时采集传感器信息,自动进行温度工程值换算,连续监测配网开关内接点、排线、接头等无绝缘的电气设备的运行温度,确定各部位电载体的温度走向趋势,及时提供配网开关故障部位,当发生内部超温时,监测 IED 发出报警信息,同时提供监测后台温度变化趋势曲线,提醒运行人员注意。

3.3 绝缘特性监测功能

绝缘监测功能由两个模块完成:一是传感器采集前置模块;二是监测 IED 高频信号处理组件模块。监测 IED 具备地电波、超高频两种原理的监测功能,通过配置不同的高频信号处理组件得以实现。

地电波^[4]监测功能需要在配网开关壁上放置 TEV 传感器采集前置单元,内置耦合电容板、滤波电路、放大检波电路等信号调理电路,通过高频同轴电缆线与监测 IED 高频信号处理相连,局放监测功能组件采用 FPGA 对高频信号进行实时采样及以太网转发,然后通过 DSP 对采样数据进行分析、计算,判断局部放电类型,显示局部放电数值、放电次数。信息管理组件对 CPU 分析诊断组件处理结果进行管理,通过大容量数据存储、检索完成局部放电趋势统计查询功能,在线连续监测开关柜设备的绝缘劣化情况,减少和避免因为这类故障而造成损失。

超高频监测功能与地电波监测功能类似,需要在配网开关壁上贴上外置式超高频传感器采集前置单元,通过高频同轴电缆线与监测 IED 局放监测功能组件相连,局放监测功能组件内置超高频滤波电路、放大检波电路等信号调理电路,采用 FPGA 对高频信号进行实时采样及以太网转发,然后通过 DSP 对采样数据进行分析、计算,判断局部放电类型,生成局部放电简报及局放相位特性(Phase Resolved Peak Display, PRPD)、脉冲相位特性(Phase Resolved Pulse Sequence, PRPS)图谱。信息管理组件功能一样的,对局部放电信息做总体趋势分析,然后生成局部放电简报,通过 IEC61850 及文件服务方式将测量量、局放图谱数据传输至状态监测后台。

3.4 信息建模

监测 IED 的 IEC 61850 建模^[5-6]原则完全遵循 IEC61850 第二版状态监测逻辑节点。通过自动建模工具导出标准模型文件。

支持的服务包括关联服务、数据读写服务、报告服务、控制服务、取代服务、定值服务、日志服务、文件服务、GOOSE 发布/订阅、采样值(Sampled Value, SV)发布/订阅。各功能监测 IED 使用专用的逻辑节点构建通信数据架构。

适用于配网开关状态监测的 IEC 61850 模型如表 1 所示。

表 1 IEC 61850 信息建模
Table 1 IEC 61850 information model

序号	名称	涵义
1	MONT	逻辑设备实例名
2	MONT	管理逻辑节点
3	LPHD	物理设备逻辑节点
4	SCBR	开关操动机构监测逻辑节点
5	SOPM	储能电机监测逻辑节点
6	SIMG	SF ₆ 气体绝缘介质监测逻辑节点
7	STMP	温度监测逻辑节点
8	SPDC	局部放电监测逻辑节点
9	THUM	湿度监测逻辑节点
10	RDRE	录波逻辑节点
11	GGIO	位置信号、告警信息监测逻辑节点
12	MMXU、MMXN	通用测量量监测逻辑节点

4 状态监测诊断系统

状态监测诊断采用分层分布、面向对象的设计理念,同时适用于多操作系统。

监测系统能提供满足现场运行所需要的监视画面,如电气主接线图、设备实时运行状态图、动态棒型图、动态曲线、历史曲线等和满足运行管理所需要的统计表格。具有可伸缩矢量图形库,满足终期规模当地监测系统主接线及各间隔图的配置需

要。状态监测系统具备 IEC 61850 服务端功能,通过自动建模的方式,提供 IEC 61850 模型,实现遥测、遥信向外发布,及文件发布功能。

监测系统对全站受监测一次设备进行状态评估,给出系统的、整体的监测报告,可以表格或直观的趋势图展示一次设备的状态变化趋势,所有数据均可长期储存和打印输出,具备历史数据查询、报警数据查询、数据备份等功能。

5 信息互动

1) 监测 IED 与 DTU 信息互动

状态监测 IED 发出的配网开关告警信息可以通过开出节点告警方式或者 GOOSE 报文方式,与 DTU 进行信息互动,如果是改造站,可以通过电缆接线方式与 DTU 信息互动,如果是新建站,可以通过光纤方式,采用 GOOSE 与 DTU 信息互动。

2) 监测系统与配网自动化系统信息互动

状态监测作为单独系统时,需要和配网自动化系统进行信息交互,可以通过 IEC 61850 或 104 规约进行交互。系统融合了 IEC 61850,实现统一建模^[7],将监测 IED 上送数据按照标准模型存储,构建融合一次设备监控工况、运行工况的信息模型,实现信息共享及管理,真正意义上实现了设备状态信息的高度共享。

系统提供了丰富的信息展现手段,可以使用户更为便捷的发现自己关心的信息,更好的支持决策水平。

6 工程案例

为验证本系统的工程应用价值,选取天津城南 25 号配电站作为试点工程,配电站有 12 面 ABB Uniswitch 开关柜,通过与天津 ABB 一次厂家沟通,在 Uniswitch 开关柜上安装了位移传感器、电流传感器、SF₆ 传感器、TEV 传感器、UHF 传感器,同时增加了一面屏柜,柜内放置状态监测 IED、监测后台,监测 IED 与 DTU 通过电缆接线一副开关状态异常告警节点,监测后台通过以太网线与配网自动化系统连接。通过实际开关动作试验,测试监测后台数据反映是否正确。试验方法如下:

1) 通过断路器动特性测试仪对比监测 IED 采集的行程曲线数据,同一次开关动作试验,动特性测试仪所显示的开关行程、时间、速度、线圈电流、电机电流与监测 IED 上送给监测后台的数据一致。

2) 通过 SF₆ 补气口,改变封闭气室内 SF₆ 气体压力,在相应的临界告警点,监测后台均可以正确报出压力异常、微水异常等告警信息。

3) 通过电子打火器在开关柜壁上加入电子打火信号,模拟开关柜局部放电状态,监测 IED TEV 原理显示的局放数据变化正确,UHF 原理显示的放电次数、放电量数值变化明显,同时 PRPD、PRPS 力谱有明显变化。通过改变电子打火器在开关壁上的位置,监测 IED 显示的数据均正常变化。

4) 上述所有试验过程中出现的配网开关状态异常信息,监测 IED 均可以通过告警节点传送给 DTU,DTU 菜单上显示出异常告警信号。同时,监测后台也正确的将配网开关异常告警信息通过 IEC61850 传输给配网自动化系统,配网自动化系统远程可以正确看到天津城南 25 号配电站配网开关柜异常信息。

监测后台显示的试验效果如图 6~图 7 所示:依次为运行综合工况效果图、行程曲线效果图,局放图谱以及趋势曲线展示效果。

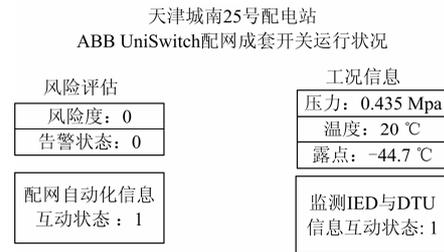


图 3 工程实施效果图 1

Fig. 3 The No. 1 effect drawing of actual project

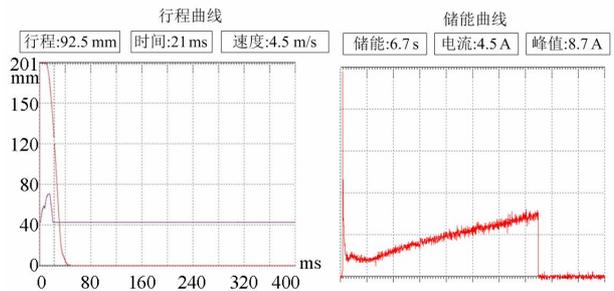


图 4 工程实施效果图 2

Fig. 4 The No. 2 effect drawing of actual project

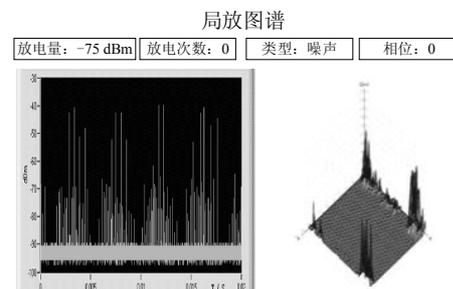


图 5 工程实施效果图3

Fig. 5 The No. 3 effect drawing of actual project

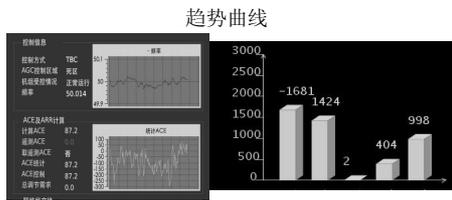


图 6 工程实施效果图 4

Fig. 6 The No. 4 effect drawing of actual project

7 结语

本文在传统配网自动化系统基础上，提出了基于 IEC61850 的配网成套开关状态监测系统，这是对智能配网建设增加一次设备状态信息所做的一种新的尝试，通过天津城南 25 号配电站试点工程应用，效果良好，现场配电站状态监测系统可以正确获取配网开关状态信息，通过模拟配网开关简单故障点，状态监测系统可以正确识别并报警，同时状态监测系统可以将一次设备状态信息反映到配电站内 DTU、配网自动化系统，具备工程应用价值。

从工程批量应用远期考虑，本系统还应在如何降低监测设备成本、状态监测 IED 与 DTU 功能整合、状态监测系统与配网自动化系统功能整合、设备诊断准确率等方面进行优化，以做到性价比最高，用户体验更好，从而面向全网推广。

参考文献

[1] 葛维春, 王芝茗, 顾洪群, 等. 一、二次设备状态信息整合及在 PMS 建设中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(21): 150-154.
 GE Weichun, WANG Zhiming, GU Hongqun, et al. The information fusion of condition-based maintenance system for primary and secondary power equipments and its application research in PMS system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(21): 150-154.

[2] 任雁铭, 秦立军, 杨奇逊. IEC61850 通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 62-64.
 REN Yanming, QIN Lijun, YANG Qixun. Study on IEC61850 communication protocol architecture[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(8): 62-64.

[3] 韩国政, 徐丙垠, 索南加乐, 等. 基于 IEC61850 的配网自动化通信技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 62-66.
 HAN Guozheng, XU Bingyin, SUONAN Jiale, et al. Communication technology for distribution automation based on IEC 61850[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 62-66.

[4] 吴国沛, 刘育权. 智能配电网技术支持系统的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 162-166.
 WU Guopei, LIU Yuquan. Research and application of technology support system for smart distributed grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 162-166.

[5] Communication networks and systems in substations – part 7-2: basic communication structure for substation and feeder equipment – abstract communication service interface (ACSI)[S].

[6] Communication networks and systems in substations – part 8-1: specific communication service mapping (SCSM) – mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802[J].

[7] 李旭涛, 周凯, 万利, 等. 基于 TEV 法的电缆终端局部放电状态监测装置的研制[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(12): 98-103.
 LI Xutao, ZHOU Kai, WAN Li, et al. Development of cable termination PD condition monitoring device based on TEV method[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(12): 98-103.

收稿日期: 2014-06-06; 修回日期: 2014-09-11

作者简介:

齐 昕(1976-), 男, 高级工程师, 从事配网自动化研究工作; E-mail: dvid_3721@tom.com

张育臣(1993-), 男, 本科, 从事电气工程技术研究工作;

唐 喜(1979-), 男, 通信作者, 高级工程师, 从事变电站自动化、一次设备状态监测研发工作。E-mail: dvid_3721@126.com

(编辑 张爱琴)