

DOI: 10.7667/PSPC152226

智能变电站继电保护二次回路在线监测与故障诊断技术

叶远波¹, 孙月琴¹, 黄太贵¹, 郭明宇², 黄勇²

(1. 安徽省电力公司调度控制中心, 安徽 合肥 230022; 2. 武汉中元华电科技股份有限公司, 湖北 武汉 430223)

摘要: 为了提高智能变电站继电保护装置相关二次回路的可靠性, 提出一种基于多参信息量的继电保护二次回路在线监测及故障诊断方法。通过对 SV、GOOSE、MMS 报文的监测及分析, 研究了过程层和站控层链路异常信息的特征, 并提出了 SV、GOOSE 网络的断链、数据异常和同步性分析与预警策略。对于继电保护装置, 提出二次回路在线状态监测方法、采样值异常、开关量监视及异常预警策略。通过网络报文记录分析装置或保护状态监测及诊断装置, 将保护设备及二次回路各环节发生故障时的典型告警信息收集、分析、上传, 构建一套继电保护二次回路在线监测与故障诊断系统。

关键词: 二次回路; 在线监测; 故障诊断; 继电保护; 分析预警

Online state detection and fault diagnosis technology of relay protection secondary circuits in smart substation

YE Yuanbo¹, SUN Yueqin¹, HUANG Taigui¹, GUO Mingyu², HUANG Yong²

(1. Dispatching and Control Center, Anhui Electric Power Company, Hefei 230022, China;

2. Wuhan Zhongyuan Huadian Science and Technology Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

Abstract: In order to improve the reliability of the relay protection relevant secondary circuit, a new method of the secondary circuit online monitoring and fault diagnosis which is based on multi-parameter information is presented. Based on the monitoring and analysis of the SV/GOOSE/MMS messages, the character of the abnormal information flow in process and control layer network is studied, the strategies of SV/GOOSE link breakage and data exceptions and analysis of the synchronization are then proposed. For the relay protection device, this paper puts forward a secondary circuit online state monitoring method, and sampling value exception, analog and digital monitoring, and abnormality pre-warning strategies. On the basis of gathering, analyzing and uploading of the typical alarm information when relay protection device and secondary circuit failure by the network packet analysis device or the relay protection state monitoring and fault diagnosis device, it establishes a relay protection secondary circuits monitoring and fault diagnosis system.

Key words: secondary circuit; on-line monitoring; fault diagnosis; relay protection; warning analysis

0 引言

智能变电站中, 通信网络取代了传统的二次回路, 数字信号取代传统物理电气信号, 实现了二次设备的网络化^[1]。网络报文记录分析装置作为智能变电站网络通信状态监视的重要设备, 实现报文的存储及分析、网络流量实时监视以及告警等功能^[2]。然而, 目前二次回路的状态监测主要依靠专业技术人员根据网络报文记录分析装置中的通信报文辅助

分析异常原因, 但记录的信息量大且复杂, 缺乏直观且有效的手段对网络信息中的故障特征进行定量和定性分析, 导致一些重要的信息被淹没, 无法形成完整的二次回路预警和分析策略, 导致运维人员难以对全站的二次回路状态进行实时监测与分析。

文献[3]提出了一种基于报文解析的过程层网络信息流异常监测方法, 并给出了详细的信息异常判据。文献[4-7]提出基于 SCD 文件的二次虚拟回路在线监测与故障诊断方案。文献[8-10]分析二次设备的运行的信息特征, 利用装置自身的状态信息进行在线监测与状态评估。文献[11-12]分析了智能站的通信网络特性, 利用通信报文信息对网络状态故障

基金项目: 继电保护运行状态远方监控及故障诊断技术研究及示范应用(52120014009S)

进行诊断。文献[13]提出了常规站的继电保护相关的二次回路在线监测与诊断方法。上述文献均仅利用了单一装置运行信息, 未有效综合通信网络中不同二次设备之间的信息交互进行综合分析。因此, 这些方法难以对智能站中的二次回路进行准确的诊断。

本文结合网络报文记录分析装置在智能站的功能特点, 通过配置网络报文记录分析装置与继电保护设备之间的链路对应关系, 提取与二次回路相关的核心报文数据, 上送至调度端进行综合分析, 同时提出了 SV、GOOSE 网络链路状态以及继电保护设备的在线监测与诊断策略。

1 二次回路在线监测与故障诊断系统架构

智能变电站中, 实现二次回路的在线监测与故障诊断的关键在于信息的获取及综合分析。其系统架构图如图 1 所示。

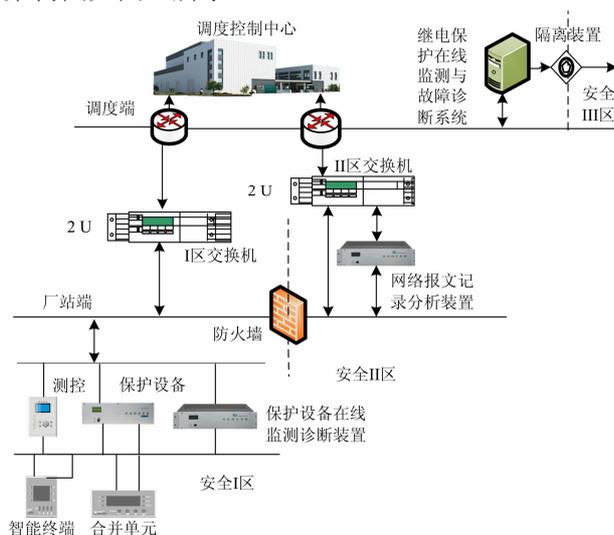


图 1 系统架构

Fig. 1 System structure

整个系统由主站系统与站端装置两部分组成, 主站系统部署在省调调度端, 考虑到现有的智能变电站架构的基础上不增加设备并且实现起来方便, 站端利用网络报文记录分析装置作为数据采集源端。对于新建的智能站, 则直接将保护在线监测与诊断装置作为数据采集源端, 数据经 I 区的网关机由 D5000 平台传送至 II 区^[14-15]。

站端的装置负责信息的采集、配置、预整理及过滤。在通信网络出现异常时, 装置快速诊断、收集相关的异常信息, 以文件的形式上送给调度端的主站系统, 主站系统负责收集站端装置上送的各种异常信息, 进行综合诊断, 并于界面进行显示。

2 在线监测信息分析

二次设备运行状态信息包含装置的 SV/GOOSE/MMS 链路异常信号和装置的自检信息。根据二次回路在线监测与故障诊断的需求, 针对智能变电站内不同类型智能二次设备的特点, 将在线监测的信息分为装置的运行状态信息、告警信号信息、保护动作信息等。

1) 装置的运行状态信息

装置的运行状态信息包含装置的软硬件自检信息、采样值、开关量信息。其中软硬件自检信息包含有装置的运行温度, 通道光强, 电源电压信息。采样值和开关量信息包含各支路电流、差动电流以及重要的开入量状态。对此类信息长期进行监视统计, 为状态检修提供基础数据和检修依据。

2) 告警信息

告警信息包含采样值、开关量异常告警及装置异常告警。其中采样值异常告警包括 CT/PT 断线、SV 品质异常、SV 链路中断、SV 检修状态不一致。开入量异常告警包含开入量异常、GOOSE 链路中断、GOOSE 检修不一致。装置异常告警包含失电告警、闭锁。在二次回路出现此类重要告警时, 快速进行故障诊断和状态评估, 采取“异常后快速定位, 异常前状态评估”的策略。为运检人员提供有效指导, 提高智能站维护便利性。

3) 保护动作

保护动作信息包含保护动作信号(保护启动、保护动作元件)和动作出口信号(出口相别, 整组动作时间)。

4) SV/GOOSE 运行状态信息

SV/GOOSE 的运行状态信息指的是报文状态以及格式异常信息。SV 报文状态包含幅值精度、相位精度、双 AD 一致性、报文等间隔性、检修状态、同步状态、数据有效性、同步信号丢失。报文格式异常指的是由于设备故障导致的 SV/GOOSE 报文残缺、过长、乱码等报文帧格式错误。

3 信息采集方案

由于在线监测信息由网络报文记录分析装置采集, 考虑到过程层和站控层间的网络报文数据量巨大, 存在大量的冗余与非重要的信息, 对调度数据网造成很大的压力。为实现快速有效的在线监测与故障诊断, 站端装置采集到数据后需要进行数据的关联、过滤以及筛选。

根据系统以及研究需求, 将在线监测信息分为稳态、暂态以及状态文件, 其中暂态文件指的是当链路中出现重要告警(如回路断链等)时, 由装置将

该时刻 APPID 对应的所有链路信息进行整理生成的文件。稳态文件则是记录长时间监测信息(如温度、光强、电压电流等)文件, 状态文件为监测链路实时通断状态的文件。

实际应用过程中, 网络报文记录分析装置按照一定的时间间隔定时上送状态文件和稳态文件, 当站控层中有重要告警数据、变化量超过 5%或分析状态有改变时主动上送暂态文件。主站端实时查询上送的数据与各二次设备的对应状况。如图 2 所示。

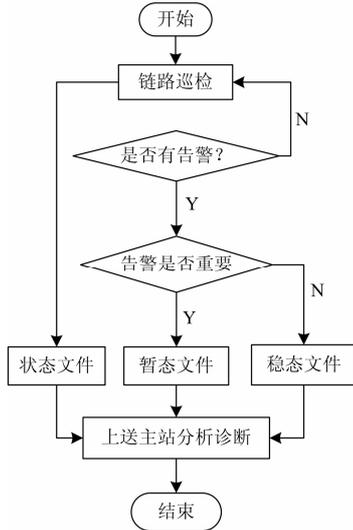


图 2 装置上送告警机制

Fig. 2 Send alarm mechanism on the device

二次回路在线监测与故障诊断系统存储站端上送的信息, 并进行实时诊断分析, 同时统计分析状态信息的长期变化规律, 并结合装置异常时的状态特征, 评估健康状况, 做出诊断决策。

4 在线监测与故障诊断原理

4.1 SV/GOOSE 链路诊断原理

对于过程层 GOOSE、SV 信号, 当接收端设备在一定时间内没有收到有效的 GOOSE、SV 信息时, 会产生相应的告警。例如: 当继电保护装置 SV 链路异常时, 继电保护装置无法获取正常的接收数据, 会通过站控层 MMS 上送相应的链路断线告警报文, 网络报文记录分析装置可获取这些告警报文。

针对网采、网跳回路, 由于各装置之间具有统一的系统观测源, 可通过对比发送方与多个接受方之间链路的状态进行监测, 根据各装置上送的链路告警报文即可以定位到相应的链路异常。

针对直采回路, 其与网采的 SV 端口不同, 无法进行链路对比监视, 因此难以准确定位到具体的故障点, 但可以通过预先配置, 列举所有可能故障

点, 同时综合其他二次设备的网采回路情况, 给出各种故障点的概率, 直跳回路由于无法获取其相关的对比信息, 只能由继电保护装置上送的告警进行故障定位。

其诊断策略如图 3 所示。

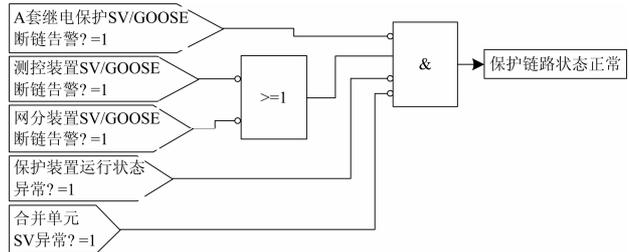


图 3 继电保护 SV、GOOSE 链路诊断策略

Fig. 3 SV and GOOSE link diagnostic strategies

4.2 交流回路状态诊断原理

对于二次回路交流量的在线监测, 可利用网络报文记录分析装置和继电保护装置采集的交流量综合判断。智能站普遍采用双 AD 采样, 并配备了双重化的保护, 通过对比继电保护装置通过 MMS 上送的双 AD 采样值和两套保护的采样值, 如果它们之间的相对误差在阈值范围之内且继电保护装置无采样不一致的告警, 则认为双 AD 采样一致或者两台保护的交流二次回路状态处于正常状态; 如果相对误差超出阈值, 同时继电保护装置未发出采样不一致的告警, 则判断至少有一套继电保护的交流回路出现异常, 并给出继电保护装置所对应的异常二次回路。

通过对比网络报文记录分析装置的 SV 和继电保护装置 MMS 上送的采样值, 如果两者最大误差在阈值范围之内, 并且网络报文记录分析装置和继电保护装置无 SV 断链告警, 则认为 SV 二次采样回路处于正常状态; 当继电保护装置采样回路正常时, 但网分装置和保护装置之间的采样值误差超过阈值时, 则判断网络报文记录分析装置的交流采样回路出现异常, 并给出网络报文记录分析装置所对应的异常二次回路。

交流回路状态策略如图 4 所示。

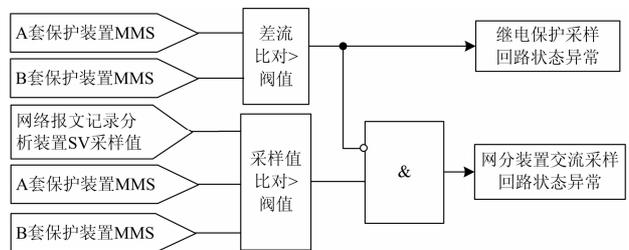


图 4 交流回路状态策略

Fig. 4 AC circuit state policy

4.3 保护动作诊断原理

4.3.1 双重化配置保护装置

通过检查 AB 套保护装置的动作为一致性诊断继电保护装置动作行为的正确性及时间特性。检查内容为动作元件及出口时间, 根据 GOOSE 中的开关量的时间计算出口时间差, 保护中的动作元件对比, 综合分析保护动作的正确性。如图 5 所示。

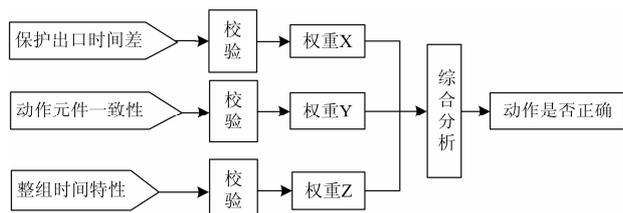


图 5 保护动作信息诊断策略

Fig. 5 Diagnosis strategy of relay information

4.3.2 单重化配置保护装置

对单重化配置的保护装置, 通过与网络报文记录分析装置的模拟量对比进行交流回路的状态监测, 通过与测控装置的位置信号对比进行开关量回路的状态监测。同时, 将模拟量的变化与单重化保护的逻辑动作相结合, 综合分析保护动作的正确性。如图 6 所示。

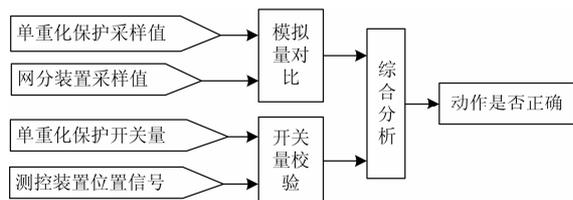


图 6 单重化保护信息诊断策略

Fig. 6 Single relay protection communication link

5 网络信息异常状态及预警策略

智能变电站中, SCD 文件描述了所有二次设备发布的 SV、GOOSE 数据集, 并通过定义二次设备各功能逻辑设备下逻辑节点 LN0 所属的 inputs 元素来描述各二次设备实现各功能所需的采样或信号输入, 通过外部接入数据对象参引和内部数据对象属性之间的映射关系实现外部信号的输入。通过遍历 IED 过程层的 Connected AP 元素获得 IED 名称、访问点名称、物理端口号和端口所连接光纤标识, 遍历 IED 过程层的 Inputs 元素获得虚端子连线, 构成虚回路。

根据 SCD 文件解析出的 IED 设备序号, 构成二次设备集合, 可记为 X 。

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

式中, x_1, x_2, \dots, x_n 表示 IED 设备。

将各 IED 根据 Inputs 元素形成的虚接线, 构成虚接线集合, 可记为 Y 。

$$Y = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ x_1 & g(x_1, x_1) & g(x_1, x_2) & \vdots & g(x_1, x_n) \\ x_2 & g(x_2, x_1) & g(x_2, x_2) & \vdots & g(x_2, x_n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & g(x_n, x_1) & g(x_n, x_2) & \vdots & g(x_n, x_n) \end{matrix}$$

式中: $g_i(x_1, x_2)$ 表示 t_1 时刻相对应的 IED 的虚端子链路通信状态, 当前没有断链告警上送, 表示通信状态正常, 置为 0; 有断链告警时, 通信状态异常, 置为 1; 空表示无意义, 不参与链路诊断。

因此, 根据网络报文记录分析装置上送的状态文件, 可获取各 IED 之间虚回路的状态, 借助正常通信链路来排除对应通道节点发生故障的可能性, 缩小故障定位的范围。根据上述形成虚回路集合, 记为

$$g(t_1) = \{g_1(x_1, x_2), g_1(x_1, x_3), \dots, g_n(x_n, x_n)\}$$

根据二次设备之间相关性来确定各链路之间的与或非关系, 如图 3 所示, 形成链路通断诊断表, 记为 K

$$K = \{1, 0, 1, \dots, 0\}^T$$

因此, 通过 K 值可计算出故障最可能的故障节点。

考虑到按照固定时间 Δt 上送状态可能导致部分链路的信息缺失, 同时由于装置本身采集的问题可能导致信息上送错误或者延迟上送, 诊断引入容错机制, 取 T_0 时间段上送的信息进行综合取值。其中 $T_0 = \Delta t \cdot N$; N 为可设置的整定值。故障节点的可能性 EH 如下式所示。

$$EH = g(t_1) \times K$$

以典型的合并单元、继电保护、网络报文记录分析装置、测控、智能终端所组成的虚端子图为例, 假设站控层收到一条来源于继电保护告警信息为“某线路合并 SV_A 网链路出错”、其他装置均未产生告警。

由上述结构, 可根据二次设备生成 5 个各虚端子图以及故障节点组合, 如表 1 所示。

表 1 虚回路集合

虚回路	故障节点集合
X1	A
X2	A、B、E
X3	A、B、C、E
X4	A、B、D、E
X5	E

表1中, X1~X5分别对应合并单元、测控装置、继电保护装置、网络报文记录分析装置、智能终端的虚端子图集合。A~D分别对应合并单元出口A、继电保护接收端B、测控装置接收端C、网分接收端D、智能终端出口E的故障点集合。

诊断结果如表 2 所示。

表 2 诊断结果

Table 2 Analytical result

虚回路	通信状态	A	B	C	D	E
X1	0	0				
X2	1	1	1			1
X3	1	1	1	1		1
X4	1	1	1		1	1
X5	0					0
统计		0	3	1	1	0

结果显示, $EH = \{0, 3, 1, 1, 0\}$; 在通过对多回路综合取值后, 可知故障点 B 处的可能性最大, 而 B 点故障点为保护接收端故障。

6 结论

针对目前智能变电站存在的无法进行有效在线监测与故障诊断的问题, 结合当前智能站的二次设备情况, 通过优化与改善现有的网分装置的功能, 提出了一种用于智能站的二次系统故障诊断分析方法, 并根据智能变电站自身所特有的特征, 以提高智能变电站故障诊断系统的适用性、容错性为目标, 提出了智能变电站继电保护在线监测与故障诊断方法。

通过对智能电站内的网分装置功能的提升, 实现基于通信网络监控装置报文监视告警信息上送, 进而推断在通信网络及网分告警信息缺失情况下, 可通过其他相关告警信息进行准确的故障诊断, 同时推断缺失的告警信息, 辅助校验诊断结果准确性。

本项目对网分装置进行功能提升, 通过将告警进行梳理与筛选并上送至调度端进行综合分析, 可有效实现全网继电保护设备在线监测与故障诊断分析。

参考文献

[1] 高翔, 张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术, 2006, 30(23): 71-75.
GAO Xiang, ZHANG Peichao. The main features of digital substation and key technologies[J]. Power System Technology, 2006, 30(23): 71-75.

[2] 王治民, 陈炯聪, 任雁铭, 等. 网络通信记录分析系统在数字化变电站中的应用[J]. 电力系统自动化, 2010,

34(14): 92-95.
WANG Zhimin, CHEN Jiongcong, REN Yanming, et al. Application of network communication recorder and analyzer in digital substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(14): 92-95.

[3] 丁修玲, 张延旭, 蔡泽祥, 等. 基于报文解析的变电站过程层网络信息流异常保护方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(13): 58-63.
DING Xiuling, ZHANG Yanxu, CAI Zexiang, et al. A protection method of abnormal information flow in process layer network based on packet analysis[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(13): 58-63.

[4] 胡道徐, 沃建栋. 基于 IEC61850 的智能变电站虚回路体系[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(17): 78-82.
HU Daoxu, WO Jiandong. The system is based on false intelligence IEC61850 substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(17): 78-82.

[5] 高翔, 杨漪俊, 姜健宁, 等. 基于 SCD 的二次回路监测主要技术方案介绍与分析[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(15): 149-154.
GAO Xiang, YANG Yijun, JIANG Jianning, et al. Analysis of secondary circuit monitoring methods based on SCD[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(15): 149-154.

[6] 张巧霞, 贾华伟, 叶海明, 等. 智能变电站虚拟二次回路监视方案设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 123-128.
ZHANG Qiaoxia, JIA Huawei, YE Haiming, et al. Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 123-128.

[7] 马杰, 李磊, 黄德斌. 智能变电站二次系统全过程管控平台研究与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 77-90.
MA Jie, LI Lei, HUANG Debin. The whole process of research and practice of management and control platform for intelligent substation secondary system[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 77-90.

[8] 徐长宝, 庄晨, 蒋宏图. 智能变电站二次设备状态监测技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 127-131.
XU Changbao, ZHUANG Chen, JIANG Hongtu. Technical research of secondary equipments state monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control,

- 2015, 43(7): 127-131.
- [9] 嵇建飞, 袁宇波, 王立辉, 等. 某 110 kV 智能变电站合并单元异常情况分析及对策[J]. 电工技术学报, 2015, 30(16): 254-259.
JI Jianfei, YUAN Yubo, WANG Lihui, et al. Analysis and countermeasure on abnormal operation of one 110 kV intelligent substation merging unit[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(16): 254-259.
- [10] 王涛, 张尚, 顾雪平, 等. 电力系统运行状态的趋势辨识[J]. 电工技术学报, 2015, 30(24): 171-180.
WANG Tao, ZHANG Shang, GU Xueping, et al. Trends identification of power system operating states[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(24): 171-180.
- [11] 许伟国, 张亮. 数字化变电站网络通信在线故障诊断系统的设计与应用[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(6): 121-124.
XU Weiguo, ZHANG Liang. Digital substation network communication line diagnosis system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(6): 121-124.
- [12] 刘晓胜, 庞继伟, 徐殿国, 等. 基于蛛网结构的智能变电站过程层 GOOSE 网组网可靠性与实时性研究[J]. 电工技术学报, 2013, 28(增刊 1): 245-250.
LIU Xiaosheng, PANG Jiwei, XU Dianguo, et al. Research on the reliability and real-time of process layer GOOSE network scheme in smart substation based on spider web topology structure[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(S1): 245-250.
- [13] 叶远波, 孙月琴, 黄太贵. 继电保护相关二次回路的在线状态检测技术[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(23): 108-113.
YE Yuanbo, SUN Yueqin, HUANG Taigui. On-line state detection technology of relay protection relevant secondary circuits[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(23): 108-113.
- [14] 李瑞生, 李燕斌, 周逢权. 智能变电站功能架构及设计原则[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 24-27.
LI Ruisheng, LI Yanbin, ZHOU Fengquan. Every week right smart substation functional architecture and design principles[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 24-27.
- [15] 国调中心关于印发继电保护设备在线监视与分析应用提升方案的通知(调继(2014)80号)[S].
-
- 收稿日期: 2015-12-24; 修回日期: 2016-03-08
作者简介:
叶远波(1973-), 男, 工学硕士, 高级工程师, 英国工程技术学会注册工程师(IET-ENG), 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: yeyuanbo888@sohu.com
孙月琴(1964-), 男, 工学硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护;
黄太贵(1963-), 男, 工学硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统调度自动化。
- (编辑 葛艳娜)