

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181213

一种基于多维特征点的监控信号规范性分析方法

高志¹, 樊锐轶¹, 罗晋¹, 王梦嘉²

(1. 国网河北省电力有限公司, 河北 石家庄 050000; 2. 国网河北检修公司, 河北 石家庄 050000)

摘要: 从各类设备有效监控所需的标准信号出发, 研究一种对监控信息点表规范化分析的方法。通过对监控信息点表进行解析, 并对相关信息进行交叉辨识, 提取出变电站的电压等级、接线方式以及各个电压等级包含的一、二次设备。结合标准信号智能生成推理机, 生成变电站的标准信息点表。通过监控信号智能匹配分析, 提取信息点表中信号缺少或信号不规范的问题集。实验证明, 这种监控信号规范性分析方法解决了以往监控信息点表审核工作量大、审核结果不规范的问题, 为变电站设备监控提供了一个统一规范的平台。

关键词: 监控信号; 推理机; 多维特征点; 一二次设备集; 交叉辨识

A normalization analysis method for monitoring signals based on multi-dimensional feature points

GAO Zhi¹, FAN Ruiyi¹, LUO Jin¹, WANG Mengjia²

(1. State Grid Hebei Electric Power Company, Shijiazhuang 050000, China; 2. Maintenance Company of State Grid Hebei Electric Power Company, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Starting from the standard signals required for effective monitoring of all types of equipment, this paper studies a method of standardized analysis of monitoring information points. Through the analysis of monitoring information table, and cross recognition of relevant information, it can extract the voltage level and wiring mode of substation, and the first and secondary equipments contained in each voltage level. Using standard signal to generate inference engine intelligently, the standard information table of substation can be generated. Intelligent matching analysis of monitoring signals can extract problem sets with missing or irregular signals from information point tables. Experiment shows that the normalization analysis method for monitoring signals solves the problem of heavy workload and non standardized audit results in monitoring information points, providing a unified and standardized platform for substation equipment monitoring.

This work is supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2015CB759600).

Key words: monitoring signal; inference engine; multidimensional feature points; first and secondary equipment set; cross identification

0 引言

随着国家电网有限公司调控一体化体系建设的不断推进和变电站无人值守模式的全面推行, 对电力设备监视、控制的自动化水平和安全水平提出了更高的要求^[1]。

在变电站无人值守模式下, 变电站内没有常驻的工作人员, 无法对变电站内一次设备、二次设备进行面对面监视和控制^[2]。监控人员通过遥信、遥测对现场设备的运行状态进行监视, 并通过遥控、

遥调对电网的运行状态进行控制^[3]。随着我国智能电网的快速发展, 电网监视和控制面临着新的、更大的挑战^[4-5]。四遥信号, 尤其是遥信信号, 其完整性、规范性是监控人员对现场设备进行有效监视和控制的基础条件, 成为影响电网安全、稳定、经济运行的关键因素之一^[6-8]。各类电力设备, 根据不同的变电站类型、电压等级、接线方式, 有着不同的功能配置, 需要不同的信号来反馈设备的运行状态, 同时也对应着不同的监控信息点表规范^[9-13]。

国网公司对常规站和智能站监控信息点表进行了相应的规范^[14-17]。然而, 在执行过程中, 不同的编制人员对规范、设备有着不同的认知, 监控信息点表的质量基本上依赖于专业人员的业务能力和责

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目资助(2015CB759600)

任心, 逐渐形成了各变电站设备信息命名各异、信息采集范围不一的现状。

监控信息点表的审核工作是控制点表质量、保障电网安全的重要一环, 往往由电网公司设备监控专业牵头, 组织相关专业会审。然而, 由于变电站设备类型复杂、数量众多, 会审的方式会耗费专家的大量精力, 影响变电站投运的周期。质量不高的点表为调控人员把控电网状态、处置设备故障制造了技术障碍。

本文通过对监控信息点表进行研究, 挖掘点表和间隔、设备之间的关系, 识别变电站设备模型; 利用标准点表推理机, 生成变电站标准点表; 分析信号特征点, 自动完成点表和标准点表的匹配。利用技术手段进行点表的自动审核, 提高点表审核的工作效率和工作质量。

1 点表规范化过程中遇到的问题

随着变电站无人值守模式的推广, 变电站设备交给监控员进行监视、控制。监控员通过四通信号对电网设备进行监视、控制。随着监控职责的集中, 调控中心的工作量成倍增加。信息点表的完整性、规范性关系到调控中心对电网设备运行状态的把控能力。然而, 信息点表在规范化过程中遇到以下几个方面的困难。

1) 点表审核工作量大, 影响设备启动进程

一个变电站有数以百计的设备, 每个设备又有数量不等的各类信号。大量的遥信信号, 需要不同领域的专家逐一审核, 严重地影响了设备启动的进程。

2) 审核标准不统一, 影响点表质量

规范的信息点表需要做到不缺少、不冗余、信号描述规范。对于不同的电压等级、接线方式、设备类型、设备原理, 有着不同的信号标准。因为人员的经验水平、知识背景、工作习惯的不同, 审核标准不统一, 影响了点表的质量。

3) 无法对点表整改的过程进行有效跟踪

现在的信息点表审核, 基本上还是基于 Excel 表格的审核, 缺乏专业的审核、批复、流转、对比分析的工具, 无法对点表修改的过程进行有效的跟踪。

利用自然语言处理技术对监控信号进行自动语义识别^[16], 并结合电网拓扑对变电站设备进行结构分析, 成为监控信号规范性分析的有效手段。目前, 针对电网的拓扑及接线方式, 在文献[19-24]中进行了研究, 后面需要进一步与电网设备、监控信号结合起来研究。

2 监控信息点表规范性自动审核设计方案

图 1 为监控信息点表规范化自动审核的流程图。

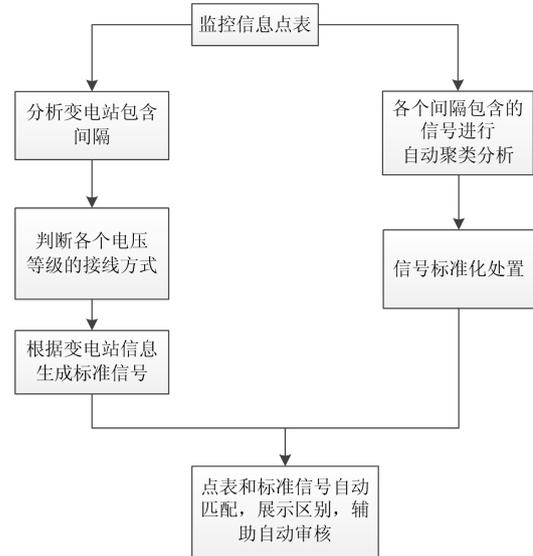


图 1 监控信息点表规范化自动审核流程图

Fig. 1 Automatic auditing of monitoring information table normalization flow chart

2.1 基于多维特征点解析变电站设备模型

监控信息点表是对电网设备进行监视、控制的关键点; 要对信息点表进行规范化处置, 前提是得到变电站设备的完整模型。变电站设备的模型信息包含:

- 1) 变电站类型(常规站、智能站);
- 2) 变电站电压等级以及各电压等级的接线方式;
- 3) 包含的主变间隔;
- 4) 各个电压等级包含的间隔类型;
- 5) 每个间隔类型包含的间隔以及各个间隔的设备名称、设备原理;
- 6) 其他辅助信息, 比如保护型号等。

在对变电站的设备模型进行分析的过程中, 间隔位置信号发挥着重要的作用。从点表中自动提取开关、刀闸、接地刀闸的间隔位置信号, 以及设备对应的调度编号, 在此基础上, 自动提取各个间隔的信息。

需要注意的是, 因为信号编写的不规范性, 不能单纯地依赖某一单独的信息来判断变电站的设备模型。需要结合遥信、遥测、遥控等多方面的信息, 进行多维特征点的分析, 从不同角度进行信息佐证。

提取出间隔相关信息之后, 要对各个间隔的类型及设备相关性进行分析。不同间隔类型, 从包含信号到信号描述, 具有不同的特征点, 依据相关的

特征点集，可以搭建多纬度、多层次的决策树，判断各个间隔对应的间隔类型。

至于各个电压等级的接线方式，通过某个电压等级包含的母线、各个线路间隔包含的刀闸和接地刀闸进行综合判断。在接线方式判断过程中，刀闸的数量及编号规则起着重要的作用；如果因为刀闸相关信号错写或者漏写，可能会引起设备模型分析错误(比如双母线比单母线接线多一把刀闸，如果此把刀闸相关信息在点表中维护错误，可能会将接线方式误判断为单母线)，进而影响标准点表的生成。为了避免因为信号编写不规范而引起的设备模型分析错误，需要对所有间隔依次进行分析，依据间隔包含刀闸的编号(刀闸编号信息对应间隔连接母线信息)规则进行分组，横向对比、纠错，准确分析接线方式。

不同原理的设备，需要监视的重点不一样，点表中包含的点表数量及描述也各不相同。比如断路器，其动力机构可能为液压机构、气动机构、弹簧机构，其主要信号如表 1 所示。

表 1 不同原理断路器特征点

Table 1 Characteristic points of breakers with different principles

断路器机构原理	主要信号
液压机构	开关油压低分合闸总闭锁
	开关油压低重合闸闭锁
	开关油泵打压超时
气动机构	开关空气压力低分合闸总闭锁
	开关空气压力低重合闸闭锁
	开关气泵打压超时
弹簧机构	开关机构弹簧未储能

其他的辅助信息，比如低压侧的接地方式(可能是消弧线圈接地、小电阻接地或者不接地)，各个间隔的保护型号等，可以根据其特征点建立对应的模型，对相应的信息进行辨别。

2.2 基于电网设备模型生成变电站标准信息点表

根据不同的变电站类型、电压等级、接线方式、间隔类型等，对应的标准信号各有不同。根据监控信息点表，挖掘出来的信息如表 2 所示。

根据不同的接线方式，包含的间隔类型有所不同；根据不同的电压等级、接线方式，各个间隔类型包含的设备有所不同；根据不同的电压等级、设备原理，各个设备包含的信号有所不同。据此，可以搭建各类规则库。

1) 电压等级包含间隔类型规则库：研究维护不同电压等级、接线方式包含的间隔类型的规则。

表 2 变电站设备模型

Table 2 Substation equipment model

变电站类型	常规站、智能站	
各侧电压等级	1 000 kV、750 kV、500 kV、330 kV、220 kV、110 kV、66 kV、35 kV、10 kV 等	
各侧接线方式	3/2 接线、双母线+旁路、双母线、单母线+旁路、单母线、内桥接线、外桥接线、线变组等	
主变间隔信息	主变本体	主变编号、保护型号等
	高压侧	
	中压侧	
	低压侧	
高、中压侧间隔	线路间隔	线路名称、开关编号、设备原理等
	母线间隔	母线编号、母线保护型号
	其他开关间隔	母联、分段、旁路等间隔，以及间隔相关信息
低压侧间隔	电容器间隔	设备名称、开关编号、设备原理等
	电抗器间隔	
	站用变间隔	
	母线间隔	母线编号、母线保护型号
	其他开关间隔	母联、分段、旁路等间隔，以及间隔相关信息
公用设备	监控系统、消防、技防、直流系统等	

2) 间隔包含设备规则库：研究维护不同电压等级、接线方式、间隔类型的间隔包含设备的规则。

3) 不同设备原理规则库：研究断路器操作机构、变压器冷却器等设备类型包含的设备原理的规则。

4) 设备包含标准信号规则库：不同原理、厂家、型号等因素下设备包含标准信号的规则。

根据以上规则，可以搭建变电站标准信号自动生成推理机，相关信息见表 3。

标准点表生成的过程中，要依据各个间隔的辅助信息对点表具体化。辅助信息包括各类设备的型号、设备名称、开关编号、母线编号、设备原理等。这些信息需要从点表中自动进行提取。

3 系统功能实现

系统由变电站设备自动提取、标准信息点表自动生成、信息点表规范性辨别、信息点表规范性处置四大模块组成，如图 2 所示。

3.1 变电站设备自动提取

首先提取的是点表中的间隔位置信号、遥控信号。理论上说，这两类信号应该能够互相对应。考虑点表维护不规范的可能性，需要对以上信息进行对比分析、综合判断，自动抽取信号文本中设备的

表 3 标准信号生成推理机

Table 3 Standard signal generation reasoning machine

电压等级	间隔	设备	标准信号
	全站		全站事故总信号
220 kV	变压器本体 (根据电压等级等特征点, 同类间隔包含不同的设备, 下同)	冷却器(根据不同原理, 包含不同的信号, 下同)	主变冷却器电源消失 主变冷却器风扇故障 主变冷却器全停告警
		非电量保护	主变本体重瓦斯出口 主变本体轻瓦斯告警
	
	高压侧	断路器	主变高压侧开关
		刀闸	主变高压侧刀闸
		操作机构	主变高压侧开关油压低分合闸总闭锁 主变高压侧开关油压低合闸闭锁
		测控装置	主变高压侧测控装置控制切至就地位置

	低压侧
	220 kV	线路间隔	断路器
刀闸			线路刀闸
线路保护			第一套保护出口 第一套重合闸出口
母联间隔	

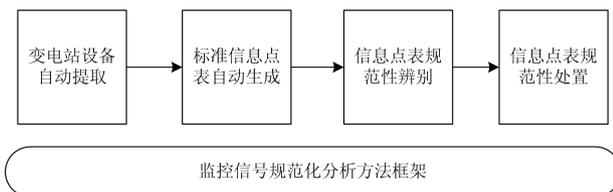


图 2 监控信息点表规范化分析框架

Fig. 2 Standardized analysis framework for monitoring information points table

编号, 综合判断变电站有哪些开关、刀闸、地刀。

其次, 根据开关、刀闸、地刀编号规则, 对开合设备进行分组, 整合为一系列的间隔。例如对于 2212 开关, 其相关的刀闸、地刀往往是以“2212”为基础, 加上相关的母线编号信息, 作为刀闸、地刀的编号。从中可以提取到间隔包含的刀闸、地刀等信息, 以及间隔连接的母线的信息: 连接几条母线、各条母线的编号、有无旁路母线, 进而判断间隔的接线方式等信息。根据变电站类型、电压等级、接线方式、间隔类型等信息, 依照“间隔包含设备规则库”, 自动生成各个间隔包含的设备列表。

然后, 需要对变电站内特殊的间隔进行提取,

包括: 母联间隔、分段间隔、旁路间隔、变压器及其高中低压侧开关间隔进行自动关联。这些特殊的间隔, 往往可以从间隔名称、开关编号寻找规律, 综合进行判断。

最后, 根据信号描述、间隔信息, 将其他信号自动划分到各个间隔, 对各个间隔进行定性分析, 确定间隔相关的辅助信息。

3.2 标准信息点表自动生成

根据第一步生成的变电站整体设备模型, 利用设备模型特征点和点表生成推理机进行自动的模式匹配, 可以用来自动生成标准的信息点表。

比如 220 kV 的线路间隔, 在设备模型解析的过程中, 系统已经获取了其连接母线的信息, 并通过其他间隔进行了相关印证。系统需要的信息包括:

- 1) 开关编号;
- 2) 刀闸、地刀编号;
- 3) 保护型号及套别(220 kV 线路间隔理论上应该对应两套主保护, 可以作为规则对信号的完整性进行辅助判断);
- 4) 连接的主设备类型(线路)及主设备名称;
- 5) 开关动力机构的原理;
- 6) 其他辅助设备的相关信息。

通过以上信息, 结合典型信号模型, 自动生成变电站的标准信息点表。

3.3 信息点表规范性判别

有了变电站标准点表, 下一步要做的是通过对比分析, 对现有点表多取、少取信号, 以及信号描述不规范等情况进行规范性判别。

信号对比分析, 重要的一步是将信号和此信号的标准命名进行自动匹配。以前的系统中, 试图通过信号描述之间的相似度进行自动匹配。经过试验, 此方式存在很大的局限性, 原因在于:

1) 由于历史情况、地区命名差异等原因, 存在很多代表同一类事物的“同义词”。

2) 信号命名中, 各类信息填写顺序不一定一样。例如“线路 2212 第一套 RCS-931 保护出口”这条信号, 在信号维护的时候可能被命名为“线路第 1 套保护出口(RCS-931)”, 从信息内容、数字写法、信息字段位置都有很大差别。

为此, 系统需要从信号中, 提取信号的特征点, 并结合间隔信息, 对缺失的特征点进行补充, 整体进行信息匹配。主要过程如下:

1) 信号内容降噪处理: 将不同写法的文字规范化处置(例如数字不同写法、可互相替代的文字集等)。

2) 提取电压等级、设备编号、保护型号、保护

套别等辅助特征点:

(1) 以电网公司电压等级完整列表为基础, 根据降噪后信号中电压等级相关文本进行信息识别;

(2) 参考不同电压等级设备编号的命名规则, 重点识别连续数字信息, 挖掘设备编号;

(3) 依据不同厂家保护型号的基础命名规则, 从连续数字、字母组合中挖掘保护型号信息, 并和保护型号库自动匹配;

(4) 依据前后语境识别保护套别。

3) 信号内容清除特征点信息, 保留信号含义关键字。

4) 通过和标准信号进行文字匹配, 辨识信号含义。

5) 结合间隔包含的其他信号进行信息佐证与补充。

3.4 信息点表规范性处置

通过点表和标准点表自动匹配, 可以列出现有点表中不规范的地方, 包括: 多余信号、缺失信号、需合并信号、不可以合并信号以及描述不规范的信号。

信号审核人员可以对信息点表中各条存疑信号提出自己的改进意见, 此改进意见及存疑信号情况, 可以随着流程一起流转。

最终的处置结果可以和需要的标准信号再次进行对比分析, 提高点表审核的工作效率。

4 算例分析

下面以某 220 kV 变电站点表自动审核为例对算法有效性进行验证。

1) 信息输入: 某 220 kV 变电站点表(含遥信、遥测、遥控、遥调信息)。

2) 变电站整体信息解析, 相关结果见表 4。

表 4 变电站信息分析结果

Table 4 Analysis results of substation information

问题点	判据	结论	
变电站类型	是否包含合并单元或智能终端相关信号	常规站	
是否有 GIS 设备	是否包含各类气室相关信号	无 GIS 设备	
电压等级	高压侧	220 kV	
	中压侧	110 kV	
	低压侧	10 kV	
接线方式	高压侧 间隔包含-2(线路侧)、-4(连接 4 母)、-5(连接 5 母)、-6 刀闸(连接旁母); 两个分段、两个母联间隔	双母线双分段+旁路	
	中压侧	间隔包含-2(线路侧)、-4(或-5)刀闸; 一个分段间隔	单母分段
	低压侧	间隔包含小车; 一个分段间隔	单母分段

3) 间隔、设备、设备原理、辅助特征点解析
依托间隔位置信号, 追溯变电站的间隔、设备信息, 结果如下:

(1) 主变: 1#主变、2#主变, 1#主变包括 2201、1101、201 开关, 以及对应的刀闸; 主变保护的型号分别为 PST-1202B、RCS-974A。

(2) 220 kV: 包含线路间隔、母线间隔、母线保护间隔、母联间隔、分段间隔、旁路间隔等, 断路器的机构类型为弹簧机构(依据点表中具备“弹簧未储能”之类信号进行判断)。

(3) 110 kV: 包含线路间隔、母线间隔、母线保护间隔、分段间隔等。

(4) 10 kV: 包含母线间隔、母线保护间隔、分段间隔、电容器间隔、电抗器间隔、站用变间隔等。

4) 标准点表生成, 并和点表自动匹配

使用标准信号生成推理机, 生成标准点表。经过点表自动匹配, 生成点表自动审核结果如下:

(1) 发现缺少信号 38 条, 主要集中在主变保护缺少复压闭锁过流出口, 断路器缺少 SF₆ 气压低报警等。

(2) 发现信号编写不标准 125 条, 主要集中在间隔位置信号未按照标准格式编写, TV 未能按照标准名称编写等。

(3) 发现多余信号 36 条。经人工审核, 确认有 8 条信号因现场设备原因需要此信号, 建议保留; 其余 28 条为多余信号。

5 成果与效益

调控一体化的实施对电网的自动化水平提出了更高的要求, 监控信息点表的合理性、规范性的作用和意义得以凸显。然而, 由于没有专业的信号审核工具辅助, 导致信号审核耗费人力物力过多、审核时间过长、审核质量无法得到保证。本文从这些现实情况出发, 对这些问题进行深入研究, 并给出了很好的解决方案:

1) 提供点表自动审核工具, 减轻工作量

自动对现有信息点表进行分析, 提取变电站相关的设备信息, 智能审核点表编制的相关问题。整体工作都是计算机自动完成, 大大提高了点表审核的工作效率, 减轻工作量, 推动了设备投运进程。

2) 采用统一、专业的标准信号模型, 提高点表质量

在对变电站设备自动提取的基础上, 根据变电站设备的特征点, 采用专业的标准信号生成推理机,

自动生成标准信号,摆脱了以往审核人员的知识结构、工作经验的差异,统一了信息点表的标准,提高了监控信息点表的质量。

3) 利用系统对点表审核过程进行一体化管理

利用专业系统,对点表编制过程中存疑问题及审核意见进行在线流转,并利用系统对点表改进情况进行自动把关。本方案的使用,提高了监控管理和运行人员的工作效率,并提升了电网的安全运行水平。

6 结论

本文为减轻监控信息点表审核过程中的工作压力、提高点表质量,介绍了基于多维特征点的监控信号规范性分析方法。该平台的研发有助于提升信息点表审核、流转的速度,保障点表的规范性,对提高电网的信息化、自动化水平创造了条件。基于此方法的监控信号分析系统的建设,能够减轻运行人员的工作压力和心理压力,提高电网的安全、稳定、经济运行水平。

参考文献

- [1] 张伟,沈沉,卢强. 电网监控从集中计算到分布处理的发展[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(22): 1-4.
ZHANG Wei, SHEN Chen, LU Qiang. Development of power network monitoring from centralized to distributed processing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(22): 1-4.
- [2] 施绮,朱峰. 电网设备资产的全生命周期管理[J]. 华东电力, 2006, 34(11): 66-69.
SHI Qi, ZHU Feng. Life cycle management for grid equipment assets[J]. East China Electric Power, 2006, 34(11): 66-69.
- [3] 张春晓,陆建峰,夏士兵,等. 基于专家系统的变电站监控信号智能处理系统[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2008, 38(增刊 2): 140-144.
ZHANG Chunxiao, LU Jianfeng, XIA Shibing, et al. Substation signals intelligence processing system based on expert system[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2008, 38(S2): 140-144.
- [4] 邢颖,郎燕生,李强,等. 多级智能电网调控系统集中运维模式的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(15): 142-148.
XING Ying, LANG Yansheng, LI Qiang, et al. Discussion on pattern of centralized operation and maintenance for multilevel smart power dispatching control system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(15): 142-148.
- [5] ZHANG Baohui, HAO Zhiguo, BO Zhiqian. New development in relay protection for smart grid[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 121-127. DOI: 10.1186/s41601-016-0025-x.
- [6] 陈波,王永庆. 电网安全控制与保护技术现状分析及发展趋势研究[J]. 智慧电力, 2017, 45(11): 67-71.
CHEN Bo, WANG Yongqing. Current situation analysis of power grid security control and protection technology and its development trend[J]. Smart Power, 2017, 45(11): 67-71.
- [7] 郭崇军,冯帆,边宏宇. 基于互联网云平台的大电网智能仿真分析系统设计研究[J]. 智慧电力, 2017, 45(12): 28-31.
GUO Chongjun, FENG Fan, BIAN Hongyu. Design and research of intelligent simulation and analysis system for large power grid based on internet cloud platform[J]. Smart Power, 2017, 45(12): 28-31.
- [8] 张永刚,庄卫金,孙名扬,等. 大运行模式下面向监控的分布式智能告警架构设计[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(22): 148-153.
ZHANG Yonggang, ZHUANG Weijin, SUN Mingyang, et al. Architectural design of distributed intelligent alarm application for equipment monitoring in the "large operation" mode of state grid[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(22): 148-153.
- [9] 许箴,吴伟,顾寅凯. 变电所异常信号分析处理辅助决策系统的构建与实施[J]. 电力设备, 2004, 5(8): 61-62.
XU Zhen, WU Wei, GU Yinkai. Constitution and implementation of supplementary decision system for analysis and handling of abnormal signal in substation[J]. Electrical Equipment, 2004, 5(8): 61-62.
- [10] 孔华东,蔡泽祥,邹俊雄,等. 电力系统继电保护信息管理的图形化平台[J]. 电力系统保护与控制, 2002, 30(5): 25-28.
KONG Huadong, CAI Zexiang, ZOU Junxiong, et al. A graphic frame design of the management information system of power system relay protection[J]. Power System Protection and Control, 2002, 30(5): 25-28.
- [11] 张启雁,王西超,高圣源,等. 基于 CIM 与 XML 技术的变电站监控信息数据研究与解析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015, 27(增刊 1): 78-82.
ZHANG Qiyang, WANG Xichao, GAO Shengyuan, et al. Research and analysis of monitoring information data in the substation based on CIM and XML technology[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2015, 27(S1): 78-82.

- [12] 李响, 陈浩敏, 陈波, 等. 基于 IEC 标准的变电站监控运维数据建模的研究[J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(12): 56-60.
LI Xiang, CHEN Haomin, CHEN Bo, et al. An IEC standards-based modeling method for monitoring, controlling, operation and maintenance data in substations[J]. Power System and Clean Energy, 2013, 29(12): 56-60.
- [13] 张扬, 郭庆来, 吴文传, 等. 数字化变电站保护设备建模及其应用[J]. 电力科学与技术学报, 2012, 27(2): 16-23.
ZHANG Yang, GUO Qinglai, WU Wenchuan, et al. Modeling and application of protection devices in digital substation[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2012, 27(2): 16-23.
- [14] 樊陈, 倪益民, 窦仁晖, 等. 智能变电站一体化监控系统有关规范解读[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(19): 1-5.
FAN Chen, NI Yimin, DOU Renhui, et al. Interpretation of relevant specifications of integrated supervision and control systems in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(19): 1-5.
- [15] 金芬兰, 王昊, 范广民, 等. 智能电网调度控制系统的变电站集中监控功能设计[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 241-247.
JIN Fenlan, WANG Hao, FAN Guangmin, et al. Design of centralized substation monitoring functions for smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 241-247.
- [16] 王冬青, 李刚, 何飞跃. 智能变电站一体化信息平台的设计[J]. 电网技术, 2010, 34(10): 20-25.
WANG Dongqing, LI Gang, HE Feiyue. Design of integrative information platform for smart substations[J]. Power System Technology, 2010, 34(10): 20-25.
- [17] 周邳飞, 徐石明. 智能变电站数据中心初探[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(18): 57-61.
ZHOU Yefei, XU Shiming. A preliminary investigation on data center in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(18): 57-61.
- [18] 丁盛舟, 李永光, 杜鹏, 等. 基于 CIM/E 的电网调度系统数据质量优化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(3): 129-134.
DING Shengzhou, LI Yongguang, DU Peng, et al. Data quality optimization method of power grid scheduling system based on CIM/E[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(3): 129-134.
- [19] 王湘中, 黎晓兰. 基于关联矩阵的电网拓扑辨识[J]. 电网技术, 1996, 20(3): 30-33.
WANG Xiangzhong, LI Xiaolan. Topology identification of power network based on incidence matrix[J]. Power System Technology, 1996, 20(3): 30-33.
- [20] 郭帅文, 燕跃豪, 蒋建东, 等. 基于邻接矩阵的网络拓扑辨识算法[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(12): 50-56.
GUO Shuaiwen, YAN Yuehao, JIANG Jiandong, et al. Network topology identification algorithm based on adjacency matrix[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(12): 50-56.
- [21] 陈星莺, 孙恕坚, 钱锋. 一种基于追踪技术的快速电力网拓扑分析方法[J]. 电网技术, 2004, 28(5): 31-34.
CHEN Xingying, SUN Shujian, QIAN Feng. A fast power system network topology based on tracking technology[J]. Power System Technology, 2004, 28(5): 31-34.
- [22] 朱永利, 盛四清, 雷少峰. 一种新的电网自动接线分析方法[J]. 华北电力大学学报, 1998, 25(3): 1-7.
ZHU Yongli, SHENG Siqing, LEI Shaofeng. A new analysis method of the grid automatic connection[J]. North China Electric Power University, 1998, 25(3): 1-7.
- [23] FOLEY M, BOSE A, MITCHELL W, et al. An object based graphical user interface for power systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1993, 8(1): 97-104.
- [24] ZHANG Z Z, HOPE G S, MALIK O P. A knowledge-based approach to optimize switching in substation[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1990, 5(1): 103-109.

收稿日期: 2018-09-26; 修回日期: 2019-01-18

作者简介:

高志(1975—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化; E-mail: gaoz@he.sgcc.com.cn

樊锐轶(1982—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电子信息工程; E-mail: 15373026646@163.com

罗晋(1986—), 男, 硕士研究生, 中级工程师, 研究方向为电气工程及其自动化。E-mail: 326572350@qq.com

(编辑 张爱琴)