

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.200586

变电站防误闭锁逻辑可视化校验系统设计与应用

张海庭, 张思远, 刘登鑫, 慕宗君, 王广民, 邵广时, 李江林

(许继集团有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 分析了变电站防误闭锁逻辑可视化的功能需求, 依托智能监控平台设计了一套变电站防误闭锁逻辑可视化校验系统。系统可实现监控接线图一次设备防误闭锁逻辑的图形化展示与实时闭锁校验结果展示。同时还可以实现全站的防误闭锁逻辑可视化展示与一体化仿真模拟校核, 在线仿真模拟支持图形模拟和手工模拟两种方式。针对不同的防误闭锁逻辑规则所需图形画布尺寸不同的问题, 提出了可视化逻辑图自适应布局算法, 实现不同逻辑规则的自适应布局展示。最后给出了工程应用效果, 该系统深化了防误闭锁逻辑在智能监控平台上的功能应用, 并为相应的工程调试验收提供了一种便利化手段。

关键词: 智能变电站; 一体化监控; 一次设备; 防误闭锁逻辑; 可视化; 模拟校验; 运维检修

Design and application of a visualization check system for anti-misoperation blocking logic in a substation

ZHANG Haiting, ZHANG Siyuan, LIU Dengxin, MU Zongjun, WANG Guangmin, SHAO Guangshi, LI Jianglin
(XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China)

Abstract: A visualization analysis of the functional requirements and check system for anti-misoperation blocking logic in a substation is designed and applied. It is based on an intelligent monitoring platform. The system realizes the graphical display and the real-time checking result display for the primary equipment on a monitoring wiring diagram. At the same time, it can realize the visualization of the whole station anti-operation blocking logic rules and an integrated simulation check. The online simulation supports both graphic and manual display. Different sizes of graphics canvas required by different logic rules present a problem. Thus an adaptive layout algorithm for a visual logic diagram is proposed to realize the adaptive layout display of different logic rules. Finally, the result of engineering application is given. The system deepens the functional application of anti-misoperation blocking logic on an intelligent monitoring platform, and provides a convenient means for corresponding engineering debugging and acceptance.

This work is supported by the Science and Technology Project of State Grid Corporation of China “Research and Application of Key Technologies for Intelligent Decision Making” (No. 5206/2018-19002A).

Key words: smart substation; integration monitoring; primary equipment; anti-misoperation blocking logic; visualization; simulation check; operation and maintenance

0 引言

变电站电气误操作不仅会造成大面积停电、设备损坏、人身伤亡等事故, 甚至可能导致电网的振荡瓦解, 严重威胁电网、设备及人身安全, 影响电力系统的安全运行, 而变电站防误闭锁功能则是防止发生电气误操作的重要保障。防误闭锁逻辑是指

微机防误系统中的五防闭锁规则及其逻辑关系, 是变电站防误闭锁的基础, 因而一套界面友好、功能易用且具备防误闭锁逻辑编辑、展示及校验功能的防误闭锁系统对于保证变电站防误闭锁逻辑的准确性与正确性具有重要意义。国内各个电气设备厂商推出的变电站微机防误闭锁系统(包括独立五防系统和一体化五防系统)均已具备以上功能, 但是防误闭锁逻辑的展示通常都是采用数据表格或规则文本的方式, 且逻辑校验与规则展示功能分离, 存在防误闭锁逻辑展示整体感不强、逻辑结构可理解性较

基金项目: 国家电网公司科技项目资助“智能决策关键技术研究及应用”(5206/2018-19002A)

差、闭锁逻辑仿真校验不方便的缺点。

目前防误闭锁功能已经成为变电站监控系统的一项基本功能，进一步地在变电站智能监控平台上对防误闭锁逻辑功能进行可视化增强不仅是可行的而且是必须的。近些年在变电站防误闭锁逻辑方面的话题讨论比较多，但通常都是对规则内容标准化、闭锁逻辑校验方法、防误闭锁系统应用及二次设备操作防误的研究^[1-13]，对于防误闭锁逻辑的可视化展示及一体化校验技术研究比较少。文献[1]研究了智能变电站五防闭锁规则标准化信息模型与防误闭锁规则库；文献[2]虽然提出了一种基于可扩展标记语言(XML)的变电站可视化防误规则，但该方案仅局限于文本方式的可视化展示；文献[3]设计了一套与视频监控协同的可视化监控防误系统，但实现的是防误过程的可视化监控和管理；文献[4-7]讨论了防误闭锁功能在变电站及主子站间的拓展应用，文献[8-13]研究了二次设备安措操作防误闭锁技术，但均未实现防误闭锁逻辑的图形可视化展示。

本文通过分析总结变电站防误闭锁逻辑可视化功能需求，依托自主开发的变电站智能监控平台设计了一套变电站防误闭锁逻辑可视化校验系统，可实现对监控画面接线图上一次设备的防误闭锁逻辑可视化展示和实时校验计算，同时还能实现全站一次设备的防误闭锁逻辑可视化展示及模拟仿真校核，有效提升变电站防误闭锁逻辑展示的逻辑完整性和结构可理解性，图形化展示与模拟仿真校验功能的一体化设计更加提高了变电站运行维护与工程验收的操作便利性。

1 防误闭锁逻辑可视化功能需求分析

随着智能电网的快速发展，具备全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化的智能变电站一体化监控系统得到了广泛的推广应用，智能变电站一体化监控系统通过图模数据共享和系统集成优化，实现了变电站内监视控制功能与防误闭锁功能的一体化集成。《智能变电站一体化监控系统技术规范》要求站控层 I 区监控主机应具备完整的防误功能，能根据智能变电站电气设备的网络拓扑结构，进行电气设备的有电、停电、接地三种状态的拓扑计算，自动实现防止电气误操作逻辑判断^[14]。

规范对变电站防误闭锁功能提出了具体详细的要求，但并未对防误闭锁逻辑的可视化与仿真校验功能做出相关要求。在现场运维过程中遇到了以下两个问题：一方面由于防误校验过程的不可见，在一次设备操作前运维人员无法可视化确认防误闭锁逻辑的实时校验结果，同时正常运维操作时无法及

时尽早发现防误闭锁逻辑配置错误；另一方面在工程建设验收过程中，运维人员无法对工程配置的全部防误闭锁逻辑表达式进行可视化快速仿真验证。

因此，针对以上问题，同时根据一体化监控技术规范在站控层的要求，本文通过对防误闭锁功能在智能变电站站控层业务的应用场景分析，总结出用于防误闭锁逻辑可视化的功能需求，主要分为两类：监控画面防误闭锁逻辑可视化与实时校验需求和全站防误闭锁逻辑可视化与模拟校核需求。前者主要应用于监控后台人工遥控操作前的防误闭锁校验，一体化五防操作前的防误闭锁校验^[15]，一键顺控操作前的防误闭锁校验^[16]，以及防误校验失败后的闭锁原因展示。后者主要应用于防误闭锁逻辑编辑过程与全站防误闭锁逻辑的验收校核。

2 系统体系结构

变电站防误闭锁逻辑可视化校验系统基于变电站智能监控平台软件构建了三层体系结构，包括平台支撑层、公共服务层和业务应用层，系统体系结构如图 1 所示。



图 1 系统体系结构

Fig. 1 System architecture

平台支撑层为自主开发的智能变电站一体化监控业务平台^[17]，为公共服务层和业务应用层提供实时数据库、配置数据库、历史数据库等平台基础功能；公共服务层基于平台支撑层的基础数据提供各种插件服务及公共接口，包括模型配置、实时数据、组态画面、告警服务、权限管理、通信服务、控制服务等公共服务，模型配置服务实现平台模型配置库数据的统一管理与读写接入，实时数据服务完成监控 SCADA 数据的采集计算与快速读写，组态画面服务实现主接线图、系统图、间隔分图等图形画面的灵活组态生成和实时刷新展示，告警服务负责各业务应用模块产生的告警信息分发与接入，权限管理服务提供统一的用户管理与权限验证；业务应用层使用公共服务层提供的接口，综合应用平台支撑层的模型配置、实时监视等业务数据，实现监控

画面防误闭锁逻辑可视化与实时校验和全站防误闭锁逻辑可视化与模拟校验等应用功能。

3 业务应用功能设计

3.1 监控画面防误闭锁逻辑可视化与实时校验

监控画面防误闭锁逻辑可视化与实时校验主要实现了监控接线图上一次设备当前目标操作方式的防误闭锁逻辑及其实时校验结果的可视化展示功能, 可视化逻辑图借鉴了电力系统保护逻辑可视化设计中“与/或”门的理念^[18], 同时又根据防误闭锁逻辑的特点进行了应用创新。以某 220 kV 变电站 2111 隔离刀闸合操作的防误闭锁逻辑规则为例, 防误闭锁逻辑可视化及实时状态校验“通过”的设计效果图如图 2 所示, 防误闭锁逻辑可视化及实时状态校验“未通过”的设计效果图如图 3 所示。



图 2 防误闭锁逻辑可视化实时校验通过

Fig. 2 Anti-misoperation blocking logic real-time checking pass

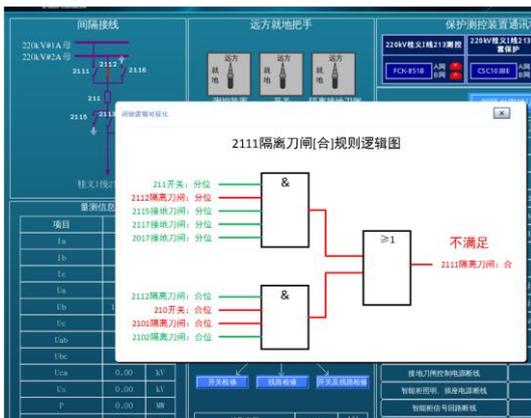


图 3 防误闭锁逻辑可视化实时校验未通过

Fig. 3 Anti-misoperation blocking logic real-time checking fail

可视化展示窗使用不同颜色展示逻辑条件是否满足的实时状态, 同时实时计算和展示当前防误闭锁逻辑的校验结果, 由于此时可能需要进行实时

监视与控制操作, 因此不允许进行模拟置位方式的防误闭锁逻辑校验。

与逻辑使用与门矩形符号“&”表示, 或逻辑使用或门矩形符号“≥1”表示, 逻辑门符号右侧为逻辑计算结果连接线和一次设备闭锁逻辑的操作方式描述, 对于一次设备闭锁逻辑的操作方式描述例如“2111 隔离刀闸: 合”表示 2111 隔离刀闸的合操作规则, “2111 隔离刀闸: 分”表示 2111 隔离刀闸的分操作规则。逻辑门符号左侧为当前操作规则的逻辑条件列表, 例如“211 开关: 分位”表示 211 开关满足条件的规则为 211 开关在分位, “2112 隔离刀闸: 合位”表示 2112 隔离刀闸满足条件的规则为 2112 隔离刀闸在合位, 模拟量逻辑条件则将逻辑条件中间的“:”替换为相应的模拟量计算逻辑符号。

逻辑可视化图示中左侧的规则条件与右侧的操作描述采用不同颜色展示实时的逻辑计算结果。可视化校验系统实时检查左侧参与逻辑计算的一次设备实时状态, 满足当前单个逻辑条件时将逻辑条件与逻辑连接线均使用绿色显示, 不满足时将逻辑条件与逻辑连接线均使用红色显示; 右侧对应的操作描述根据实际逻辑校验结果进行显示: 逻辑校验通过时将操作描述与逻辑连接线均使用绿色显示, 同时在操作描述上方使用绿色加粗字体标注“满足”; 逻辑校验未通过时将操作描述与逻辑连接线均使用红色显示, 在操作描述上方使用红色加粗字体标注“不满足”, 并通过智能监控平台告警服务发送防误闭锁逻辑校验不满足的实时告警信息。

监控画面防误闭锁逻辑可视化与实时校验的操作步骤如下。

第一步: 运维人员在监控系统的实时监控画面接线图上右键点击某一次设备, 弹出“防误逻辑可视化”菜单项。

第二步: 运维人员选择并点击该菜单项, 系统弹出当前一次设备操作的可视化联闭锁逻辑展示窗, 展示内容包含当前一次设备防误闭锁逻辑的操作方式及其防误闭锁逻辑规则条件。默认展示当前一次设备的目标操作方式防误闭锁逻辑, 如当前一次设备 2111 隔离刀闸为分位, 则展示其目标操作方式 2111 隔离刀闸合操作的可视化闭锁逻辑规则。

第三步: 可视化校验系统实时读取其逻辑规则条件的相关遥信状态, 以不同颜色展示当前满足与不满足的条件项, 同时实时计算并展示出防误闭锁逻辑校验结果。

通过在运维操作前对防误闭锁逻辑的可视化图形展示与实时校验结果计算, 使不可见的防误闭锁逻辑校验过程变得形象直观, 无论校验通过与否,

都可以极大提升运维人员倒闸操作的安全信心。

3.2 全站防误闭锁逻辑可视化与模拟校核

在新建变电站工程调试阶段，需要配置全站的防误闭锁逻辑，而全站防误闭锁逻辑的验证与校核工作非常繁重，且变电站的五防系统验收涉及范围广，很容易在检查验收工作中出现错漏^[19]。随着电网结构的日益复杂，传统表格展示或文本核对的方式已经无法完全适应新时期调试验证的需求，本文设计的全站防误闭锁逻辑可视化与模拟校核功能可以解决该问题，该功能可以实现全站一次设备防误闭锁逻辑可视化展示及一体化仿真校核。

全站一次设备防误闭锁逻辑可视化展示界面分为三个区域：树形列表区、可视化逻辑图区、状态模拟区，设计效果图如图4所示。

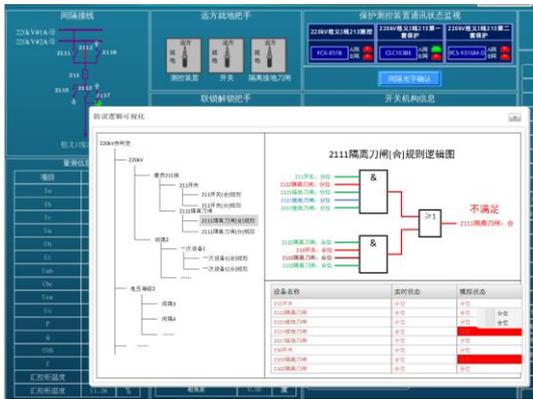


图4 全站防误闭锁逻辑可视化与模拟校核

Fig. 4 Visualization and simulation check of the whole station anti-misoperation blocking logic

树形列表区依次按树形层级关系展示变电站名称、电压等级、间隔名称、一次设备名称和一次设备操作规则名称。

可视化逻辑图区的逻辑可视化展示方式与前述监控接线图一次设备防误逻辑可视化功能相同。在防误规则中涉及的一次设备模拟置位后，逻辑条件描述与逻辑连接线使用不同颜色展示模拟置位后的状态，模拟置位的一次设备满足当前单个逻辑条件时将逻辑条件与逻辑连接线均使用蓝色显示，不满足时将逻辑条件与逻辑连接线均使用暗红色显示。

状态模拟区具备当前防误规则所涉及一次设备的模拟置位功能。列表分为一次设备名称、实时状态和模拟状态三列，一次设备名称列显示当前防误规则所涉及一次设备名称，实时状态列与模拟状态列默认显示一次设备的实时位置状态。一次设备名称列与实时状态列禁止修改，模拟状态列的一次设备状态允许修改进行模拟置位。

一次设备位置状态模拟支持手工模拟与图形模拟。前者通过手动置位模拟状态列中一次设备位置状态改变需要校核的防误闭锁逻辑条件，当模拟状态与实时状态不一致时模拟状态单元格使用红色底色显示，两者一致时模拟状态单元格恢复正常白色底色显示，模拟置位后监控画面同步实时展示模拟置位后的一次设备位置状态，手工模拟置位采用下拉菜单选项方式选择一次设备的分位、合位。后者通过点击监控图形画面上的一次设备图元进行一次设备模拟置位，模拟置位后状态模拟区同步刷新显示模拟后的一次设备位置状态。一次设备模拟状态改变时可视化逻辑图区实时展示逻辑条件是否满足的颜色，并实时刷新模拟后的闭锁逻辑校验结果。

针对防误闭锁逻辑校核过程中发现的逻辑规则配置错误，系统提供了逻辑规则的快捷修改功能。右键点击树形列表一次设备操作防误规则节点弹出“修改防误规则”菜单项，点击该菜单项调出闭锁逻辑规则编辑窗。闭锁逻辑规则编辑窗以数据表格列表的方式展示当前选中的防误闭锁逻辑规则，可以增加、删除或修改当前闭锁逻辑规则的条件项。系统还提供了图形化新增逻辑条件项的功能，右键点击当前监控画面中的一次设备图元并选择对应的分合操作条件，选中某操作条件项即可快速增加至当前规则列表。关闭防误规则编辑窗时系统自动保存最新逻辑规则，并实时更新至当前可视化逻辑图。

全站防误闭锁逻辑可视化与模拟校核的操作步骤如下。

第一步：运维人员由系统提供的统一调取入口进入全站防误闭锁逻辑可视化与模拟校核操作界面，进入前进行用户权限验证，具备权限的用户才允许进入全站逻辑可视化展示与模拟验证界面。

第二步：运维人员选择并点击树形列表区中某个一次设备防误闭锁逻辑后，逻辑图区展示对应的可视化防误闭锁逻辑规则，并根据防误规则中所涉及的一次设备当前位置状态实时计算出防误闭锁逻辑校验结果。

第三步：当需要进行防误闭锁逻辑仿真模拟校核时，运维人员通过手工模拟的方式改变状态模拟区规则条件涉及的一次设备位置状态，或者采用图形模拟方式在接线图上点击相关的一次设备进行模拟置位，可视化校验系统实时刷新逻辑规则条件的模拟状态，以不同颜色展示当前满足与不满足的条件项，同时计算并展示模拟置位后的校验结果。

第四步：当运维人员发现当前防误闭锁逻辑规则配置错误时，右键点击树形列表中当前闭锁逻辑规则项调出防误规则编辑窗，通过手工或图形方式

快捷新增、删除或修改当前防误逻辑规则。

第五步: 运维人员完成本项防误闭锁逻辑校验后, 点击树形列表节点切换到其他一次设备防误闭锁逻辑, 重复第二步至第五步的操作过程。

防误闭锁逻辑可视化与模拟仿真校核一体化的功能设计, 使得运维人员可以快速便捷地进行全站防误闭锁逻辑的调试验收, 有效提高了工作效率。

4 可视化逻辑图自适应布局算法

由于不同运行方式的一次设备防误闭锁逻辑规则各不相同^[20], 这就导致不同运行方式下的逻辑图大小不一, 防误闭锁逻辑规则的不确定性对可视化逻辑图设计提出了统一布局展示的要求。例如单母线接线方式的一次设备防误闭锁逻辑大多数为一组“与”逻辑, 即当所有相关位置条件均处于满足状态时整个防误闭锁逻辑表达式才为真; 而双母线接线母联方式的母线侧隔离刀闸则通常有两组“与”逻辑, 两组逻辑再相“或”组成总逻辑, 即任何一组“与”逻辑表达式为真则总逻辑结果即为真; 涉及倒母操作的母线侧隔离开关则包含三组“与”逻辑, 分别为送电条件、近倒母条件、远倒母条件, 且每组条件内部最多有 7 条“与”规则, 三组“与”逻辑再相“或”组成该一次设备的总逻辑。

要将规模不同的防误闭锁规则以风格统一的可视化逻辑图展示到界面上, 为了保证画面的美观度^[21], 则需要自动设置画布的高度, 然后再以纵向高度为基准采用合适的缩放比例全图显示。基于此本文设计了逻辑图自适应布局算法, 解决不同一次设备防误闭锁逻辑的可视化逻辑图布局问题, 表达式可写成如下形式。

一次设备防误闭锁逻辑可视化逻辑图的高度为

$$h = MH + CH + \sum_{i=1}^n rh_i + (n-1) \cdot RS \quad (1)$$

式中: MH 为上下页边留白的高度; CH 为可视化逻辑图标题部分的高度; rh_i 为“与”逻辑矩形框的高度, 该防误闭锁逻辑共有 n 个“与”逻辑矩形框; RS 为矩形框之间的间隔高度; h 为画布高度。

可视化逻辑图中“与”逻辑矩形框的高度为

$$rh_i = m \cdot TH + (m-1) \cdot TS \quad (2)$$

式中: TH 为单条规则文本的高度, 一组“与”逻辑共有 m 条规则; TS 为规则之间的高度间隔。

画布的默认最小高度为展示界面区域的高度 H 。防误闭锁逻辑具有均由若干组“与”逻辑组成的特性, 若计算出的逻辑图高度小于展示界面区域的高度时, 则使用高度 H 为画布高度, 画布宽度设置为固定宽度。

可视化逻辑图自适应布局的步骤如下。

Step1 系统解析防误闭锁逻辑表达式^[22], 统计表达式深度, 并根据逻辑运算优先级将整个逻辑表达式分解为 n 组“与”逻辑表达式, 再将每个“与”逻辑表达式分别分解为 m 条单项闭锁规则。

Step2 根据 rh_i 的计算方法计算每个“与”逻辑矩形框的高度, 再根据 h 的计算方法计算可视化逻辑图的总高度。

Step3 如果 $h < H$, 则将画布高度设置为固定数值 H , 然后开始布图。布图时先在图上方标注一次设备的可视化逻辑图标题, 然后再依次画出各组“与”逻辑, 如果只有一组“与”逻辑, 则只需画出一组“与”逻辑框和 m 条单项闭锁规则即可, 若有多组“与”逻辑则需要画布上依次画出左侧的 n 组“与”逻辑框和 m 条单项闭锁规则, 最后汇总画出右侧“或”逻辑框及一次设备闭锁逻辑的操作方式描述。

Step4 如果 $h \geq H$, 则将画布高度设置为动态数值 h , 并自动布局可视化逻辑图, 布图方法与 Step3 的布图方法相同。

如果防误闭锁逻辑条件在极端最少(仅有一组“与”逻辑且只有一条规则)的情况下, 高度不及展示界面区域高度时, 由于设置了画布默认高度, 同时右侧不需画“或”逻辑矩形框, 也不会出现缩放时横向宽度超过纵向高度的图形显示异常问题。

5 工程应用

依托智能变电站一体化监控业务平台及公共服务模块, 采用上述业务应用功能设计和逻辑图自适应布局算法开发了变电站防误闭锁逻辑可视化校验系统, 全站防误闭锁逻辑可视化与模拟校核展示界面如图 5 所示。可视化逻辑图展示的是 213-D5 接地刀闸合规则的防误闭锁逻辑, 图中对防误闭锁逻辑条件涉及的 214 开关状态进行了模拟置位, 仿真模拟计算的结果显示防误闭锁逻辑校核“不满足”。



图 5 系统实例

Fig. 5 System example

变电站防误闭锁逻辑可视化校验系统已试点应用于浙江省某 220 kV 变电站,其站内的一次设备数量有 180 多个,两态一次设备需要配置分合两种防误闭锁逻辑,三态一次设备(以三态手车为例)需要配置四种(试验至检修、工作至试验、检修至试验、试验至工作)防误闭锁逻辑,涉及母线、主变操作的防误闭锁逻辑更为复杂^[23]。

经过工程试点,取得了良好的实际应用效果。

在运维人员进行运行维护操作过程中,系统可以方便地可视化显示操作设备的防误闭锁逻辑图和实时校验结果,消除了运维检修操作前的安全疑虑。在工程建设验收时,系统采用全站防误闭锁逻辑可视化与模拟校核的方法替代依靠表格查看或文本核对的验收方法,使工程与运维人员可以对全站防误闭锁逻辑配置数据进行快速准确地调试验证,简化了工程验收工作,有效提高了工程验收质量和效率。

6 总结

本文分析了变电站防误闭锁逻辑可视化功能需求,基于自主智能监控平台设计了一套变电站防误闭锁逻辑可视化校验系统,主要实现了监控画面防误闭锁逻辑可视化与实时校验和全站防误闭锁逻辑可视化与仿真模拟校核功能。根据不同运行方式下一次设备防误闭锁逻辑规则各不相同的特点,提出了可视化逻辑图自适应布局算法,算法可以实现规则各异的防误闭锁逻辑布局合理地图形化展示。基于以上设计开发了原型系统并进行了试点验证,在实际应用中取得了良好的效果。本文所设计的变电站防误闭锁逻辑可视化校验系统深化了变电站防误闭锁逻辑在智能监控平台上的功能应用,同时为变电站防误闭锁逻辑工程调试验收提供了一种便利化手段。随着智能化运维技术的不断发展,防误闭锁逻辑可视化校验在未来会有广阔的应用前景。

参考文献

[1] 樊陈,倪益民,窦仁晖,等. 智能变电站五防闭锁功能模型标准化设计及实现[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(4): 80-84.
FAN Chen, NI Yimin, DOU Renhui, et al. Standard design and implementation of anti-misoperation blocking model in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(4): 80-84.

[2] 胡红兵,郑洁,赵栋,等. 基于可扩展置标语言的变电站可视化防误规则[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(24): 54-57.
HU Hongbing, ZHENG Jie, ZHAO Dong, et al. Anti-misoperation rules of substation visualization based on

extensible markup language[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(24): 54-57.

[3] 钱平,李长宇,王笑棠,等. 基于变电站的微机防误系统的可视化监控技术研究[J]. 现代电子技术, 2016, 39(24): 176-178.
QIAN Ping, LI Changyu, WANG Xiaotang, et al. Visual monitoring technology of computer anti-misoperation system based on substation[J]. Modern Electronics Technique, 2016, 39(24): 176-178.

[4] 高新华,周克林,余南华,等. 数字化变电站在线式防误操作系统技术综述[J]. 南方电网技术, 2011, 5(2): 81-84.
GAO Xinhua, ZHOU Kelin, YU Nanhua, et al. Survey on the technology of online anti-maloperation system in digital substations[J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(2): 81-84.

[5] 谷文旗,莫杰,贺燕英. 集控型防误操作系统方案设计[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(7): 127-130.
GU Wenqi, MO Jie, HE Yanying. Design of anti-misoperation system for centralized control station[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(7): 127-130.

[6] 蔡田田,索思亮,简淦杨,等. 基于集成双向加密认证 FTU 的配网自动化安全防护方案研究与应用[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(7): 64-70.
CAI Tiantian, SUO Siliang, JIAN Ganyang, et al. Research and application of security protection scheme for distribution automation based on integrated bi-directional encryption authentication FTU[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2020, 18(7): 64-70.

[7] 江东林,刘青丽,王峥皓,等. 新型一体化五防系统在变电站的应用[J]. 四川电力技术, 2018, 41(6): 80-88.
JIANG Donglin, LIU Qingli, WANG Zhenghao, et al. Application of new five-prevention integrated system to substation[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2018, 41(6): 80-88.

[8] 蒋航,刘进,熊俊,等. 基于线路二次设备实时信息的保护定值风险评估研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(4): 97-103.
JIANG Hang, LIU Jin, XIONG Jun, et al. Research on relay protection setting risk assessment based on real-time information of line secondary facility[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(4): 97-103.

[9] 高磊,卜强生,袁宇波,等. 基于二次回路比对的智能变电站调试及安全措施[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(20): 130-134.
GAO Lei, BU Qiangsheng, YUAN Yubo, et al. Smart

- substation commissioning and safety measures based on secondary circuit comparison[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(20): 130-134.
- [10] 张琪琦, 郑超, 孟洋洋, 等. 智能变电站一键式二次安措的研究探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(18): 176-181.
ZHANG Qiqi, ZHENG Chao, MENG Yangyang, et al. Research and investigation of one-button secondary safety measures in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(18): 176-181.
- [11] 张曼. 智能变电站设备检修的二次安全控制措施[J]. 湖北电力, 2015, 39(2): 32-34, 51.
ZHANG Man. Secondary safety control measures for smart substation equipment maintenance[J]. Hubei Electric Power, 2015, 39(2): 32-34, 51.
- [12] 陈哲, 臧富锋, 刘园伟, 等. 基于设备自锁定技术的二次设备就地运维方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(13): 156-161.
CHEN Zhe, ZANG Fufeng, LIU Yuanwei, et al. A method of local operation and maintenance for secondary equipment based on equipment self locking technology[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(13): 156-161.
- [13] 叶雷, 殷自力. 考虑二次设备的智能防误操作票系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(6): 145-149.
YE Lei, YIN Zili. Intelligent anti-misoperation operation ticket system consider secondary device[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2011, 23(6): 145-149.
- [14] 智能变电站一体化监控系统技术规范: Q/GDW 10678—2018[S]. 北京: 国家电网公司, 2018.
Technical specifications of integrated supervision and control system of smart substation: Q/GDW 10678—2018[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2018.
- [15] 马龙. 智能变电站一体化五防系统的标准化建模与开发研究[D]. 济南: 山东大学, 2015.
MA Long. Standard modeling and research of integrated five-prevention system in smart substation[D]. Jinan: Shandong University, 2015.
- [16] 郑小革, 高超, 周凡, 等. 变电站一键顺控改造方案研究及实施[J]. 电网与清洁能源, 2019, 35(12): 37-42.
ZHENG Xiaoge, GAO Chao, ZHOU Fan, et al. Research on scheme of sequential control reconstruction for substation[J]. Power System and Clean Energy, 2019, 35(12): 37-42.
- [17] 胡斌, 张海庭, 吴正青, 等. 智能变电站监控业务平台应用研究[J]. 电工技术, 2015(3): 13-16.
- [18] 李宝伟, 倪传坤, 李宝潭, 等. 新一代智能变电站继电保护故障可视化分析方案[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(5): 73-77.
LI Baowei, NI Chuankun, LI Baotan, et al. Analysis scheme for relay protection fault visualization in new generation smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(5): 73-77.
- [19] 黄伟雄. 变电站五防系统配置分析[J]. 物联网技术, 2012(5): 75-81.
HUANG Weixiong. Configuration analysis of five prevention operation system of substation[J]. Internet of Things Technologies, 2012(5): 75-81.
- [20] 黄金魁. 基于典型接线的防误闭锁逻辑规则生成与校验系统的研发与应用[J]. 电子元器件与信息技术, 2018(16): 5-9.
HUANG Jinkui. R & D and application of anti-misoperation lockout logic rule generation and checking system based on typical connection[J]. Electronic Component and Information Technology, 2018(16): 5-9.
- [21] 李宝潭, 邱俊宏, 张海庭, 等. 基于样式的变电站自动化厂站图形辅助生成系统[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(14): 120-125.
LI Baotan, QIU Junhong, ZHANG Haiting, et al. Style based graph auxiliary generation system in substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(14): 120-125.
- [22] 汤震宇, 刘明慧, 曹翔, 等. 一种调度遥控操作双路径安全校核机制的探索[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(3): 21-26.
TANG Zhenyu, LIU Minghui, CAO Xiang, et al. Exploration of a double-path security check mechanism for dispatching remote operation[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2020, 18(3): 21-26.
- [23] 张世琦. 变电站微机防误闭锁逻辑标准化应用研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2015.
ZHANG Shiqi. Research of the application of standardized computer based anti-misoperation locking rules in substation[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2015.

收稿日期: 2020-05-26; 修回日期: 2020-06-24

作者简介:

张海庭(1985—), 男, 通信作者, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统厂站自动化技术及应用。E-mail: xjtc_zhanghaiting@126.com

(编辑 周金梅)