

DOI: 10.7667/PSPC151477

智能变电站二次设备互换性探讨

李晓朋¹, 裘愉涛², 钱建国², 李刚¹, 王悦²

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 国网浙江省电力公司, 浙江 杭州 310007)

摘要: 针对智能变电站二次设备互换性进行了探讨。分析了互换性需要具备的技术条件, 并总结了同厂家同型号产品更换、不同厂商功能同类产品的互换、基于通用软硬件平台的装置功能互换三种互换模式的可行性、存在问题和解决方案。针对目前关心的不同厂商功能同类产品互换问题, 分别从过程层合并单元智能终端、间隔层保护测控装置、站控层设备角度提出了设备互换性的实施方案, 为推进智能变电站二次设备互换性工程实施提供了技术指导。

关键词: 智能变电站; 二次设备; 继电保护; 互换性; 互操作性

Discussion on interchangeability of secondary devices in smart substation

LI Xiaopeng¹, QIU Yutao², QIAN Jianguo², LI Gang¹, WANG Yue²

(1. XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China; 2. State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310007, China)

Abstract: The interchangeability of secondary devices in smart substation is discussed. Technologies needed for interchangeability are analyzed and three different interchangeable modes are summarized on the feasibility, problem and solution. These modes include: replacement of identical products from the same manufacturer, exchange of products with similar function provided by different manufacturers, the interchange of devices with similar function based on the general software and hardware platform. An effective implement scheme to the second mode currently concerned is proposed respectively considering intelligent terminal of merging unit in the process level, protection and monitor devices in the bay level and devices in the station level, which provides useful technologies for promoting implementation project of relay protection devices interchangeability in smart substation.

Key words: smart substation; secondary devices; relay protection; interchangeability; interoperability

0 引言

IEC 61850 标准体系规范了变电站自动化系统数据模型的定义和构建方法, 给出了数据模型的通信服务体系, 大大提高了变电站智能设备的互操作性^[1]。

智能变电站的一个重要应用标志就是依赖变电站配置描述文件(Substation Configuration Description, SCD)^[2], 目前智能电子设备的配置文件互操作性已经实现^[3-4], 但受数据模型配置技术和实现技术的限制, 二次设备互换性还没有实际工程应用。

智能变电站的二次设备对电网的安全运行起着

重要的作用^[5-6], 实现二次设备互换性对智能变电站运行维护有着重要的意义: 某设备出现家族缺陷时, 可快速更换其他厂家设备, 缩短停电时间, 提高供电可靠性; 能降低运维工作量和难度, 提升运行维护水平, 增强变电站自动化系统健壮性; 有利于提高设备标准化制造水平, 提高二次设备质量; 不同厂商的设备互通互换, 可降低备品备件数量, 提高运行经济性。

国家电网公司明确提出了实施 2020 坚强智能电网的战略目标, 并组织制定了一系列的技术标准规范^[7-8], 为实现装置的互换性奠定了一定的基础。

本文分析了实现二次设备互换性需要具备的技术条件, 总结了三种互换模式的可行性、存在问题和解决方案: 同厂家同型号产品更换、不同厂商功能同类产品的互换、基于通用软硬件平台的装置功能互换。针对目前关心的不同厂商功能同类产品互

换问题, 分别从过程层合并单元智能终端、间隔层保护测控装置、站控层设备角度提出了设备互换性的实施方案, 为推进智能变电站二次设备互换性工程实施提供了技术指导。

1 互换性定义

互换性是指不同时间、不同地点制造出来的产品, 在装配、维修时不必经过修整就能任意替换使用的性质。互换性有两层含义: 一是指产品的功能可以互换, 用完全相同功能的另一设备来替换原来设备, 功能互换的特性也称替换性, 这是初级互换; 二是应用过程互换, 是指在不改变系统内其他设备情况下设备的替换安装和应用的能力, 即具备互换性的设备替换前后, 在变电站接线、主站信息接入、与其他设备的互操作、后续运行维护等各方面均不发生改变, 这是高级的设备互换, 也称设备的“即插即用”。

智能变电站二次设备的互换性, 从装置硬件实现方式和组成结构上可分为板卡级互换、模块级互换、装置级互换、屏柜级互换。上述不同级别的互换要求是不同的, 难易程度相差很大, 比如板卡级互换要求板卡引出端子定义和接口类型一致; 模块级互换最基本的要求是物理尺寸统一; 装置级互换和屏柜级互换要求装置功能、通信接口、端子统一等。本文结合目前智能变电站实际工程应用, 重点探讨不同厂商生产的具有相同功能的设备之间的互换性, 属于装置级互换的范畴。

对于装置级互换, 结合工程应用分为同一厂商产品的互换、不同厂商功能同类产品的互换、基于统一软硬件平台的高度互换。本文将对上述各种装置级互换模式分别进行探讨。

在智能变电站发展的现阶段, 实现装置级互换不存在过多技术障碍, 需要解决的问题更多体现在产品设计规范和管理方面。以智能变电站的继电保护装置为例, 虽然对于单台装置来说, 其输入信息、输出信息的内容、装置功能基本明确的, 但是装置输入输出的方式、信息内容的排序、接口形式均有很多种, 比如光纤数字信号中的 SV 数据集定义、光纤接口定义、定值软压板等不同厂商的同类产品均存在或多或少的差异, 给实现装置互换性带来了一定的困难。因此明确装置互换性技术条件, 对实现装置级互换非常重要。

2 二次设备互换性技术条件

统一的通信接口和端子、标准化建模、相同的信息流和规范性配置文件是实现智能变电站二次设

备互换的技术前提, 也是实现设备功能互换的基本条件。目前国家电网公司已完成并推广应用的“六统一”设计规范在设备功能互换性上提供了很好的标准化依据, 针对同一变电站应用需求, 实现设备的功能互换已比较容易。具体应用中, 设备替换之前需要保存原设备装置参数、运行数据、定值、配置文件等, 对替换设备进行数据恢复后安装投运, 即可实现设备的功能替换。

应用过程互换, 需要在功能可互换的基础上, 将需要互换的设备 A 和设备 B 分别“黑盒”化, 使其具有相同的功能、统一规范的接口。目前, 已完成的“六统一”规范, 虽然在功能、信息等方面进行了很大程度上的统一, 但更多的是在理解装置如何设计、应用上进行的规范化, 并没有针对“黑盒”化的应用过程互换性进行较深入的标准化, 仍存在一定的互换性障碍。例如: 定值清单虽然标准化, 但仍需要针对不同装置的不同原理进行差异化定值计算; 站控层数据集命名和上送信息点虽然规范化, 但各厂商的相同信息点的路径存在很大的差异等。

在智能变电站内, 设备应用过程的需求理论上可通过 IEC61850 的配置文件及配置流程完全表达。实现应用过程的互换, 设备需要具备的技术条件总结如下:

- 1) 相同的硬件接口;
- 2) 标准化建模;
- 3) 统一的配置工具和配置文件;
- 4) 规范化的装置参数;
- 5) 实现手段上的统一, 比如信息点号唯一化表达、私有化信息安全处理等。

目前, 过程层的输出信息点如 SV、GOOSE 仍需要通过厂商提供的虚端子对照表才能完成设备接口设计。系统配置工具具备 IED 模型升级时的关联关系自动识别, 但很难实现不同 IED 间的关联关系替换。对于站控层的信息点, 此类问题更加复杂。现阶段实现设备的应用过程互换, 仍需要进一步开展的工作如下:

- 1) 需要制定设备功能相关信息点的唯一化表达规范, 以便系统配置工具可以实现关联关系的自动替换。
- 2) 黑盒化后, 设备的各类功能相关的互操作信息进行统一规范的分层处理。
- 3) 规范不同制造厂商设备之间存在的特色化自定义功能配置, 实现自定义功能信息点的自动识别和智能替换。
- 4) 系统配置工具需要更多的机器可识别信息, 以便对信息点进行功能分类, 从而可实现在系统配

置过程时自动替换标准功能，并安全地处理自定义功能。

3 二次设备互换模式探讨

本文结合智能变电站当前实际运维状况提出三种实现装置互换性的模式：

- 1) 同一厂商产品互换；
- 2) 不同厂商功能同类产品的互换；
- 3) 基于通用软硬件平台的设备互换。

3.1 同一厂商产品互换

对于某个制造厂商的设备来说，因厂商内部采用相同的软硬件平台和配置工具，互换设备具备相同的硬件环境和软件配置流程，实现互换相对比较容易，这是目前智能变电站正在应用的互换模式，优点有：1) 更换前后的产品功能和性能可以完全一致；2) 配置工具和更换前后的配置文件可以做到完全一致，对其他设备影响小；3) 产品质量和可靠性验证只需简单的确认操作就可保证，不需要复杂的试验。

同一厂商产品互换模式不能跨越各厂家之间设备的差异，在应用时候具有一定的缺陷和局限性，体现在：1) 对运维人员的技术要求高，需要掌握不同厂商的产品配置工具和操作业务内容及流程。实现互换的效率依赖于技术人员对产品及工具的熟悉。2) 由于存在同一厂商不同型号装置结构不同、不同电压等级的装置软硬件平台有差异等原因，导致互换产品的选择性差。3) 备用产品备件要对应产品不同型号分别设置，经济性差，设备管理难度和工作量大。

为提高运维效率，同厂商设备互换模式还需要进一步完善，扩大互换产品范围，提供工具和管理系统支持，简化互换操作流程。主要需从以下几方面完善：

1) 统一装置硬件平台

总体原则是按照电压等级规范、减少装置的插件类型，同一电压等级装置采用统一的软硬件平台；同种功能的插件例如电源插件、CPU 插件及过程层插件等采用统一的硬件平台。

2) 统一软件配置工具和配置文件

统一各种型号产品的配置工具和配置文件，简化配置文件下载方式，统一采用简单的下载方案，例如 FTP 方式传输文件等。

3) 构建智能设备一键式备份还原系统

面向装置根据实际数据信息构造装置数据包文件目录，以装置为单位创建设备的备份库，对装置的程序、配置文件、定值等所有数据信息进行备份；

设备更换时通过简单的操作完全还原装置的程序、配置及定值等内容，确保设备数据恢复后，即可进行设备互换。

3.2 不同厂商功能同类产品的互换

目前智能变电站运行的二次设备，制造厂商众多，不同厂商的设备之间功能类似，但是仍存在特色化的自定义功能配置和实现方式差异，如产品功能配置差异、功能特性不一致、配置模型对象数量差异、配置工具差异、定值参数名称差异等。实现不同厂商功能同类产品的互换，对提高智能变电站运维水平有着重要的意义：1) 产品选择范围较大，产品更换灵活性较好；2) 备用产品备件可适当公用共享，设备管理难度和工作量较少，经济性好；3) 由于产品和工具相对统一，运维人员需要学习掌握的产品、工具内容接近，学习量少；4) 对厂家技术支持的依赖程度会降低，有利于运维水平的提高。因此实现不同厂商之间功能同类产品的互换是智能变电站现阶段迫切需要研究应用的课题。

一系列技术规范如文献[9-15]的颁布，为实现不同厂商功能同类产品的互换奠定了一定的基础。如文献[9]《智能变电站继电保护技术规范》中对继电保护及相关设备的配置原则、技术要求、信息交互原则等给出了比较细致的要求；文献[10]《IEC 61850 工程继电保护应用模型》对 IED 应用模型、服务实现、GOOSE/SV 模型和实施、物理端口描述、检修机制等均给出了明确的规范和要求；文献[11]《继电保护信息规范》制定了不同厂家继电保护的告警信息、动作信息、状态变位信息、在线监测信息、中间节点信息和日志记录等信息输出要求，为变电站和调度端的应用和设备互换扫除了技术障碍；文献[12]和文献[13]分别制定了线路、变压器、高压并联电抗器及母线保护装置标准化设计规范，不同厂家遵照上述标准规范制造出的设备互换性大大提高。

虽然不同厂商的设备在实现功能上是接近的，均符合用户的通用规范要求，但各厂商产品之间仍有特色化的自定义功能和实现技术的差异，实现不同厂商功能同类产品互换还有很大的工作量。

1) 需要制定行业技术规范，统一各厂商产品的功能、接口等；

2) 各厂商产品之间的互操作性和互换性需要前期测试确认；

3) 需要编制装置互换操作流程，规范互换操作业务内容、步骤，预防出错；

4) 研究不同厂商功能同类产品替换后质量和可靠性验证方案，使设备通过简单配置下载、测试

验证就可快速互换, 提高互换效率。

3.3 基于统一软硬件平台的设备互换

设备互换的理想模式即各种设备均采用统一软硬件平台, 设备之间可实现灵活互换。此种模式不同厂商的产品在功能的实现上是统一的, 可实现应用功能的无缝完全替换, 优点是显而易见的, 比如产品选择范围最大, 产品更换灵活性最好; 备品备件可实现同类产品的完全公用共享, 经济性最好, 设备管理难度和工作量最少; 运维操作业务流程简单统一, 工作量少, 对运维人员的技术要求较低; 设备互换工作简单快捷、可靠、高效。

基于统一软硬件平台的设备互换, 需要构建基于统一软硬件平台的智能变电站二次系统, 构建全站标准化的软硬件平台, 并实现平台与业务功能的独立设计, 提升变电站二次系统的通用性、兼容性和智能化水平。需要制定最高的行业统一的功能性标准要求及测试标准规范, 然后厂家贯彻执行, 研发生产符合要求的装置, 并组织质量认证机构做充分的互操作验证。

由于基于统一软硬件平台的设备互换模式需要统一不同厂商的软硬件平台, 实现难度较大, 短期内不容易实现。另外不同厂商的设备研制由于受制标准规范的内容太多, 可能会抑制技术与功能创新, 同时可能会带来新产品的认证内容增多。

4 二次设备互换性实现方案分析

现阶段实现二次设备互换性的复杂程度, 和设备本身的功能配置、是否独立装置、行业标准化程度有密切关系。对于功能简单、独立运行的装置来说, 比较容易实现互换, 比如交换机设备; 而继电保护装置由于其功能配置复杂多样、与过程层、站控层设备均存在信息交互, 实现互换面临较多瓶颈。鉴于不同设备的互换方案的差异, 本文针对目前业界关心的不同厂商功能同类产品的互换, 从过程层、间隔层、站控层设备角度出发, 分别分析和探讨各种二次设备实现互换性的可行性和解决方案。

4.1 合并单元智能终端设备互换

智能变电站合并单元设备实现电流电压采集量的合并打包处理, 智能终端设备实现开入开出数字化, 其功能明确, 各厂商同类产品之间硬件相似度高。文献[14]和文献[15]分别对合并单元和智能终端的功能要求、安装要求和技术服务等做了明确规定, 各厂家参照标准执行。

合并单元设备根据应用场合配置其功能模块, 由于功能明确, 硬件更容易做到统一, 因此有良好的“黑盒化”制造基础, 互换性更高。例如间隔合

并单元、PT 并列合并单元、模拟量输入合并单元等, 虽然输入内容不同, 但是对各种应用来说其输入信号通道数、输入方式是固定的, 这样就很容易“黑盒化”制造, 不同厂家设备互换时候只需检查确认配置文件一致即可。

不同厂商的智能终端设备因为开入数量不一致、跳闸出口定义不一致、虚端子定义存在差异等原因, 实现不同厂商之间智能终端设备的互换性还需要技术规范支持。智能终端宜按照电压等级规划几个产品序列, 每个序列产品的开入开出数量确定, 输出 GOOSE 内容固定, 装置内部虚端子定义明确, 各厂家参照规范执行, 以提高不同厂商智能终端设备的互换可行性。主要从以下几方面考虑:

1) 统一的硬件接口定义, 物理接口采用标准形式, 比如航空插座;

2) 开入和开出以及操作回路的定义到具体端子的标准化;

3) 配置工具和配置文件标准化, ICD 文件中的 GOOSE 输出数据集和输入数据集 dsGOOSEn 的数目和每个数据集里的数据信息排列顺序按照国网六统一设计规范实现。

4.2 间隔层保护测控装置互换

间隔层设备继电保护装置针对不同保护对象, 采用不同保护原理和逻辑实现, 其硬件模块构成差异较大, 同一厂商也存在插件型号多、硬件选型灵活多样的情况。保护装置的每个插件由硬件、固件(操作系统+保护程序)、配置文件(描述虚拟二次回路)等三层构成, 特别是 CID、CCD 等配置文件对应于每个装置实例具有很大差异性。多样化的组成和复杂的信息交换, 使智能变电站继电保护装置实现互换性变得困难重重。

文献[12]和文献[13]对 220 kV 及以上电网的变压器、高压并联电抗器、母线和母联(分段)保护及相关设备的输入输出量、压板设置、装置端子(虚端子)、通信接口类型和数量、报告和定值等进行了规范, 为继电保护实现互换性提供了有利条件。但是实现继电保护装置互换, 仍需要从以下几个方面考虑统一和规范化。

4.2.1 统一的装置接口信息

继电保护装置宜按照保护对象分类, 每种类型保护装置硬件接口统一规范。比如变压器保护装置, 规范各种电压等级主接线形式、各侧合并单元接入端口名称和 GOOSE 输出端口, 文献[13]附录 G 对智能变电站保护装置的接口信息给出了参照规范, 比如 750 kV 变压器保护 MMS 接口数量为 2, SV 接口数量为 9, GOOSE 接口为 6 个点对点 3 个组网

共 9 个端口等。

4.2.2 统一的配置文件和配置工具

在智能变电站, ICD、SCD、CID 和 CCD 等文件与配置工具、装置间的配合关系应遵循《智能变电站继电保护配置工具技术规范》的要求。实现继电保护装置的互换, 还需要规范各厂家继电保护装置的 ICD、SCD、CCD 中设备和逻辑节点的配置规范、建模原则、数据对象的命名规范和描述规则, 并规范文件的 CRC 校验码计算规则。取消私有化配置文件, 站控层、过程层配置文件采用统一的格式, 并统一配置文件下装模式。另外还要规范信息点号的唯一化表达, 并在处理不同厂商自定义功能时候做到安全可靠, 使互换的设备和其他设备不影响原有功能和性能。目前正在讨论制定的《智能变电站继电保护工程文件技术规范》中, 将对上述内容进行统一规范, 为提高继电保护互换性提供标准规范的支撑。

4.2.3 定值参数标准化

实现不同厂商同类继电保护装置的互换, 保护装置定值、控制字、软压板和开入量名称需要规范统一。对于不能完整显示上述标准名称的装置, 厂家应在说明书中提供与标准名称相应的对照表, 以便互换过程快速自动匹配。如文献[14]附录 A 规定了变压器保护装置定值清单和软压板标准格式, 规范了定值名称、排列序号、定值范围、选配定值等信息, 对保护装置的互换性起到了一定的推动作用。

另外, 保护装置实现互换性, 还需要统一软件版本标识、统一远方操作硬压板逻辑功能、统一保护检修硬压板逻辑功能、硬压板名称应与软压板名称一致、定值清单排列顺序应一致等很多细节方面的规范。

智能变电站间隔层设备测控装置由于功能明确、内部逻辑简单、定值参数少、不同厂商硬件一致性高等因素, 实现测控装置的互换相对容易。不同厂商之间统一 ICD 模型, 统一硬件接口, 基本可实现测控装置的互换。

4.3 站控层设备互换

对于智能变电站站控层设备, 实现互操作需要操作系统统一、硬件通用。目前不同厂商的 SCD 文件已经达到很高的互操作性, 只要数据库和系统软件可以在不同硬件上正常安装运行, 基本可实现站控层设备的互换。但是站控层设备互换后调试工作量势必很大, 所有站控层信息点需要调试对点, 确保信息无误后方可认为互换完成。

4.4 其他二次设备的互换

智能变电站内其他二次设备中, 故障录波装置、网络分析仪和交换机类设备, 功能明确, 硬件接口统一, 各厂商设备一致性高, 实现互换比较容易。

数字化电能表作为计量设备, 相比传统计量系统, 避免了二次电流电压受回路和外部干扰的影响, 有很大技术优势^[16]。数字化电能表功能明确, 很容易实现不同厂商互换, 但是目前由于各电能表厂商 61850 配置文件和电表参数下载方式尚未统一, 给电能表互换工作带来一定程度上的不便, 增加工作量。

在线监测设备目前规范性不够, 还没有完善的标准体系, 因此实现互换性还有很长的路要走。

5 结论

在我国智能变电站建设的现阶段, 更多更细的标准规范还在讨论过程中, 相信不久的将来一定会实现不同厂商的二次设备间兼容互换, 这是智能变电站的发展趋势。正在讨论制定的《继电保护信息规范》、《智能变电站继电保护工程文件技术规范》等一系列标准规范的发布, 必将会极大地促进智能变电站继电保护装置互换性的实施。因此, 各个标准规范的制订过程中, 有必要充分考虑装置互换性技术要求, 为日后实现装置互换性提供技术积累和良好的基础。

结合现阶段实际情况, 智能变电站二次设备种类多、功能要求差异大, 给实现互换性带来很大的困难。变电站典型化设计, 可一定程度上简化设备类型和统一功能要求, 有利于推进互换性的实施, 值得继续研究应用。鉴于现阶段实现不同厂商设备的互换还有一定难度, 采用插件级互换流程优化方案, 可实现设备插件的快速替换和即插即用, 提高智能变电站运维效率。

参考文献

- [1] 罗建, 钟加勇, 黄益华, 等. 数字化变电站 IED 互换性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(8): 90-94.
LUO Jian, ZHONG Jiayong, HUANG Yihua, et al. The exchangeability study of digital substation intelligent electrical devices (IED)[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(8): 90-94.
- [2] 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): 150-154.
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): 150-154.

- [3] 何瑞文, 钟康有, 陈超, 等. 变电站过程层报文分网传输性能的仿真分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(9): 17-22.
HE Ruiwen, ZHONG Kangyou, CHEN Chao, et al. Simulation analysis of packet transmission performance through different network in substation process layer[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2014, 26(9): 17-22.
- [4] 王留送, 杨大勇, 孔波, 等. 基于IEC 61850建模的智能终端设备的实现[J]. 高压电器, 2015, 51(5): 89-94.
WANG Liusong, YANG Dayong, KONG Bo, et al. Modeling and implementation of intelligent terminal devices based on IEC 61850 protocol[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(5): 89-94.
- [5] 余高旺. 新一代智能变电站中多功能测控装置的研制和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 127-132.
YU Gaowang. Research and application of multifunctional measurement & control device of new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 127-132.
- [6] 韩平, 赵勇, 李晓朋, 等. 继电保护状态检修的实用化尝试[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(19): 92-96.
HAN Ping, ZHAO Yong, LI Xiaopeng, et al. Instantiation sample of relay protection state maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(19): 92-96.
- [7] 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.
- [8] 刘蔚, 杜丽艳, 杨庆伟. 智能变电站虚回路可视化方案研究与应用[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(10): 32-33.
LIU Wei, DU Liyan, YANG Qingwei. Research and application of smart substation virtual circuit visualization[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(10): 32-33.
- [9] 国家电网公司. Q/GDW 441-2010智能变电站继电保护技术规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
State Grid Corporation of China. Q/GD W441-2010 technical specification of protection for smart substation[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.
- [10] 国家电网公司. Q/GDW 1396-2012 IEC61850工程继电保护应用模型[S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
State Grid Corporation of China. Q/GD W1396-2012 data model of protection relay in project based on IEC61850[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2012.
- [11] 国家电网公司. Q/GDW 11010-2013继电保护信息规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
State Grid Corporation of China. Q/GD W11010-2013 information specification of protection relay[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2013.
- [12] 国家电网公司. Q/GDW 1161-2013 线路保护及辅助装置标准化设计规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
State Grid Corporation of China. Q/GD W1161-2013 standardization design specification for transmission line protection and auxiliary equipments[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2013.
- [13] 国家电网公司. Q/GDW 1175-2013变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
State Grid Corporation of China. Q/GD W1175-2013 standardization design specification for power transformer, high voltage shunt reactor, bus bar protection and auxiliary equipments[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2013.
- [14] 国家电网公司. Q/GDW 426-2010 智能变电站合并单元技术规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
State Grid Corporation of China. Q/GD W 426-2010 the technical specification for merging unit in smart substation[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.
- [15] 国家电网公司. Q/GDW 428-2010 智能变电站智能终端技术规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
State Grid Corporation of China. Q/GD W 428-2010 the technical specification for intelligent terminal in smart substation[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.
- [16] 唐毅, 江波, 李红斌. 数字电能计量采样值丢帧处理方法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(增刊1): 444-448.
TANG Yi, JIANG Bo, LI Hongbin. Handling methods for sampled value frame missing in digital power metering[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(S1): 444-448.

收稿日期: 2015-08-20; 修回日期: 2015-11-12

作者简介:

李晓朋(1979-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为智能变电站检修测试技术; E-mail: xiaopengl@xjgc.com

袁愉涛(1967-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为继电保护运行管理; E-mail: qiu_yutao@zj.sgcc.com.cn

钱建国(1976-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为继电保护运行管理。E-mail: qian_jianguo@zj.sgcc.com.cn

(编辑 葛艳娜)