

DOI: 10.7667/PSPC170560

## 智能变电站二次虚回路连线自动生成实践

杨辉<sup>1</sup>, 温东旭<sup>1</sup>, 高磊<sup>2</sup>, 廖泽友<sup>1</sup>, 王永刚<sup>1</sup>

(1. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211100)

**摘要:** 智能变电站二次虚回路设计是智能站设计的主要工作, 对智能站安全可靠运行具有重要意义。为提高虚回路配置效率, 降低出错概率, 提出了一种智能变电站二次虚回路自动生成的办法。该办法通过系统规范描述文件(SSD)中的间隔配置信息以及设计的“间隔连线表”, 基于共同信息模型, 实现二次虚回路连线根据特征字自动匹配。此方法采用自动匹配过程, 优于原来的人工连线, 可以有效降低人工参与度, 从而提高二次虚回路构建的工作效率和可靠性。该研究内容对于相关工程实践具有较好的借鉴价值。

**关键词:** 智能变电站; 二次虚回路连线; 间隔连线表; 自动匹配; 映射表

### Automatic generation of secondary circuit virtual connection in smart substation

YANG Hui<sup>1</sup>, WEN Dongxu<sup>1</sup>, GAO Lei<sup>2</sup>, LIAO Zeyou<sup>1</sup>, WANG Yonggang<sup>1</sup>

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** The design of virtual secondary circuit is the main part of smart substation design work, which is of great significance to the security and trouble free operation of smart substation. To improve the efficiency of virtual circuit configuration and reduce the probability of error, a method of automation generation of virtual secondary circuit is proposed. According to the bay configuration information of the System Specification Description (SSD) and the designed “Connection Table of the Bay”, based on the common information model, an automatic matching method of the virtual secondary circuit connection, which is based on the feature words, is achieved. Automatic matching process is adopted in this method, which is superior to the original manual connection as well as can reduce the manual participation, so that it can improve the working efficiency and reliability of the construction of virtual secondary circuit. And the content of the paper has a great reference value for the relevant engineering practice.

**Key words:** smart substation; virtual secondary circuit connection; connection table of the bay; matched automatically; mapping table

## 0 引言

传统变电站二次回路设计通常利用 AutoCAD 工具实现<sup>[1]</sup>, 并由建设人员根据设计图纸进行现场二次电缆的连接施工。智能变电站相比常规变电站, 二次回路设计发生了很大的变化, 数字化虚回路取代了物理二次回路, 二次设备的虚端子取代了外部物理端子<sup>[2]</sup>。系统调试过程, 由设计院提供虚端子连线 EXCEL 表格, 集成商根据连线表格完成系统配置描述文件(以下简称 SCD)配置, 并依据 SCD 生

成配置文件下载到 IED 中, 二次调试的工作量主要集中在虚端子的连线上<sup>[3]</sup>。实际上设计出正确的虚端子连线 EXCEL 表格, 是一件非常繁琐的事, 通常也是由集成商来完成的。例如一个典型的 220 kV 智能变电站的虚回路数量较多, 虚回路连接可达数千条, 光纤可达数百根<sup>[4]</sup>。工程维护人员需要设计虚端子连线表, 并根据连线表在系统配置器中选择对应的 IED 虚端子手动进行配置连线, 此种方式配置工作繁琐、效率低且容易出错。

本文通过 SSD 中间隔信息<sup>[5]</sup>, 根据典型间隔的虚回路配置相对固定的原理, 利用 IED 模型的标准化, 抽取二次保护设备(IED)的收发信息模型参引, 将收发信息提取为具备专业含义的特征字信息表,

基金项目: 国家电网公司科技项目“智能变电站多厂家配置工具集成技术研究”

形成参引与特征字的“特征字映射表”。根据特征字进行收发连线, 形成“间隔连线表”, 再根据“特征字映射表”与“间隔连线表”进行映射合成, 得出设备参引连线关系, 导入 Inputs 节点完成虚回路连线<sup>[6]</sup>。本方法的优势在于节省了大量的人工冗繁工作<sup>[7]</sup>, 最大限度地将重复的工作模板化, 将可变的工作自动化, 提高了工作效率<sup>[8]</sup>。

## 1 设计方案

SCD 文件主要由 5 部分组成: Header、Substation、IED、Communication 和 Data Type Templates, 通过解析 Substation、IED 和 Data Type Templates 3 部分内容可实现二次虚回路自动连线<sup>[9]</sup>。系统原理结构图如图 1 所示<sup>[10]</sup>。

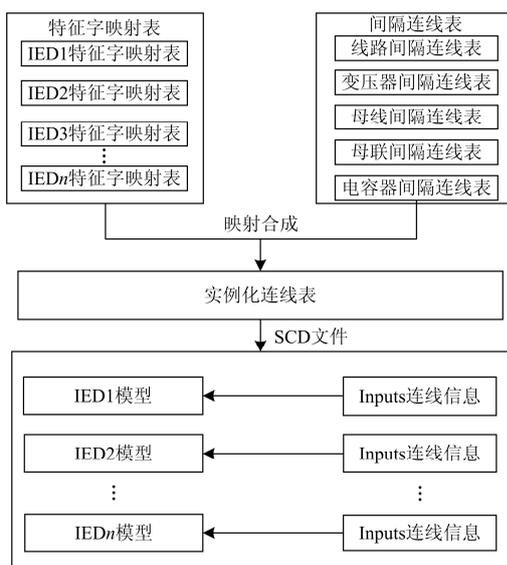


图 1 系统原理结构框图

Fig. 1 Block diagram of system structure

其中的 Substation 部分描述了系统一次设备的拓扑关系信息<sup>[11]</sup>, 主要定义了变电站的电压等级、间隔、一次设备以及与一次设备关联的二次设备; IED 部分描述了全站二次设备的功能和服务; Data Type Templates 部分描述了逻辑节点类型和数据类型的定义。

二次虚回路自动连线通过获取 Substation 节点中定义的电压等级等间隔信息<sup>[12]</sup>, 匹配基于特征字的间隔连线表<sup>[13]</sup>, 从而得到此间隔下需要连线的二次设备的连线模板即单间隔连线表, 再通过设备类型匹配 SCD 中的 IED 信息找到此二次设备的模型定义设备特征字连线信息, 然后与设备提供的设备特征字映射表文件, 依次匹配信号的参引, 获得参引连线关系表, 通过系统配置工具将参引连线

关系表导入 Inputs 节点下, 即自动完成了此设备的二次虚回路连线。

虚端子连线自动实现的理论基础如下所述。

### 1) 基于特征字的间隔连线表

随着智能变电站的发展, 国家电网对智能变电站内的保护设备、测控设备、合并单元和智能终端等设备的设计制定了相应规范, 对 IEC61850 工程应用模型和变电站整站设计进行了规范, 典型变电站内各电压等级间隔配置已经规范化。

针对变电站内间隔二次设备的典型业务, 配置间隔层设备与过程层设备的二次虚回路, 引入设备的输入和输出信号的特征字标识来配置虚回路连线模板<sup>[14]</sup>, 基于该特征字的间隔连线模板适用于各电压等级的智能变电站, 其存储方式如图 2 所示。

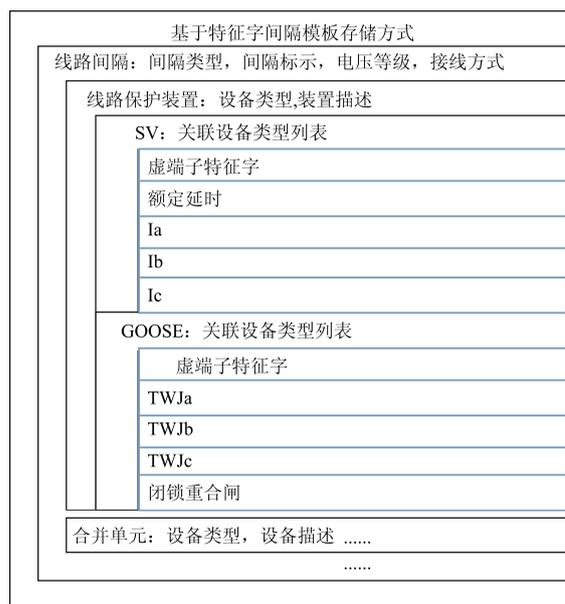


图 2 基于虚端子特征字的间隔模板存储方式

Fig. 2 Storage patterns of bay templates based on virtual terminal key words

基于该特征字的间隔连线模板, 包含智能变电站典型间隔信息, 即此间隔所属的电压等级、间隔标识名称、间隔接线方式和间隔类型; 间隔下包含此间隔典型配置的二次设备, 二次设备信息主要为设备类型和设备描述等; 设备信息包含此设备的 SV 虚端子特征字连线表和 GOOSE 虚端子特征字连线表, 此连线表仅在需要输入信号的设备中列出。

### 2) 设备特征字映射表文件

间隔层和过程层设备提供参引与特征字映射文件。间隔层设备发布包含 GOOSE 和 SV 输入(In)、输出(Out)信号与特征字映射关系的映射文件, 过程层设备发布包含 GOOSE 和 SV 输入、输出信号与

特征字映射关系的映射文件。其中，映射文件实例内容如下：

```
<IED type="WXH-803A" desc="线路保护设备">
  <SV type="In">
    <Item desc="额定延时" key="额定延时"/>
    <Item desc="A 相电流" key="Ia"/>
    <Item desc="B 相电流" key="Ib"/>
    <Item desc="C 相电流" key="Ic"/>
    <Item desc="A 相电压" key="Ua"/>
    <Item desc="B 相电压" key="Ub"/>
    <Item desc="C 相电压" key="Uc"/>
    <Item desc="同期电压 Ux1" key="Ux"/>
  </SV>
  <GOOSE type="In">
    <Item desc="A 相断路器位置" key="TWJa"/>
    <Item desc="B 相断路器位置" key="TWJb"/>
    <Item desc="C 相断路器位置" key="TWJc"/>
    <Item desc="远传 1" key="支路 1 保护跳闸"/>
    <Item desc="远传 2" key="支路 2 保护跳闸"/>
    <Item desc="手跳开入" key="手跳开入"/>
  </GOOSE>
  <GOOSE type="Out">
    <Item desc="保护闭锁" key="保护闭锁"/>
  </GOOSE>
</IED>
```

映射表是特征字与描述的映射关系，此映射表也可以直接配置特征字与信号参引的映射关系。

### 3) Inputs 信息模型

在国网企标《IEC61850 工程继电保护应用模型》规范了 GOOSE、SV 输入采用虚端子模型。在进行系统配置时，相关逻辑设备的 LLN0 逻辑节点中的 Inputs 部分定义了该设备 GOOSE 输入连线<sup>[15]</sup>，其中每一个 GOOSE 连线包含了该逻辑设备内部输入信号和外部设备输出信号的信息<sup>[16]</sup>，虚端子与每个外部输出信号一一对应。Extref 中的 IntAddr 描述了内部输入信号的引用地址。SV 输入也同样要求采用虚端子模型。Extref 属性表如表 1 所示。

表 1 Extref 属性表

Table 1 Table of Extref attributes

属性	说明	是否必备
intAddr	内部信号引用的地址	optional
iedName	智能电子设备名称	required
LdInst	逻辑设备实例	required
Prefix	逻辑节点前缀	optional
InClass	逻辑节点类	required
LnInst	逻辑节点实例	required
doName	数据对象名称	required
daName	数据对象属性名称	optional

### 4) SSD 信息模型

基于 SSD 信息可以得到全站一次设备的拓扑关系以及一、二次设备的关联，SSD 信息模型包括：间隔所属电压等级、间隔名称、间隔类型、接线方式和间隔关联所有二次设备的名称。间隔内的二次设备信息是通过逻辑节点进行关联的，属性如表 2 所示。

表 2 间隔内二次设备信息

Table 2 Secondary equipment information in bay

属性	说明	是否必备
iedName	智能电子设备名称	optional
ldInst	逻辑设备实例	optional
prefix	逻辑节点前缀	optional
lnClass	逻辑节点类	required
lnInst	逻辑节点实例	optional
lnType	逻辑节点类型定义	optional

在表 2 中，iedName 属性为间隔下包含一次设备所关联的二次设备的名称。通过二次设备名称找到设备类型与典型间隔连线表中间隔下二次设备的类型进行匹配，进而得到此变电站中此二次设备的二次虚端子特征字连接模板，有了此模板就可以对模板中每条特征字所标识的信号与此设备的特征字映射表进行实例化的匹配，得到每个 GOOSE 或 SV 信号的实例化的参引。

## 2 虚端子连线自动生成的方法

实现间隔内二次虚回路连线的基本流程如图 3 所示。

主要包括以下几个步骤：

### 1) 获取全站间隔信息

解析 SSD 文件，获取 Substation 节点下的间隔信息，根据间隔所属电压等级、间隔名称、间隔类型和间隔下关联的二次设备等信息，生成全站间隔信息列表。

### 2) 获取单间隔连线信息

通过解析基于特征字的间隔连线模板文件，获取间隔的模板信息，间隔的模板信息包括间隔所属电压等级、间隔类型和接线方式等信息，最终形成间隔模板列表。全站间隔信息列表下单间隔通过间隔类型检索间隔模板列表获取单间隔连线表。

### 3) 获取单设备特征字映射信息

解析与设备配套的设备特征字映射表文件，获取设备特征字与设备输入/输出信号的对应关系。单间隔包含多个设备，单设备根据设备类型匹配其间隔连线模板，从而获得该设备特征字连线信息。

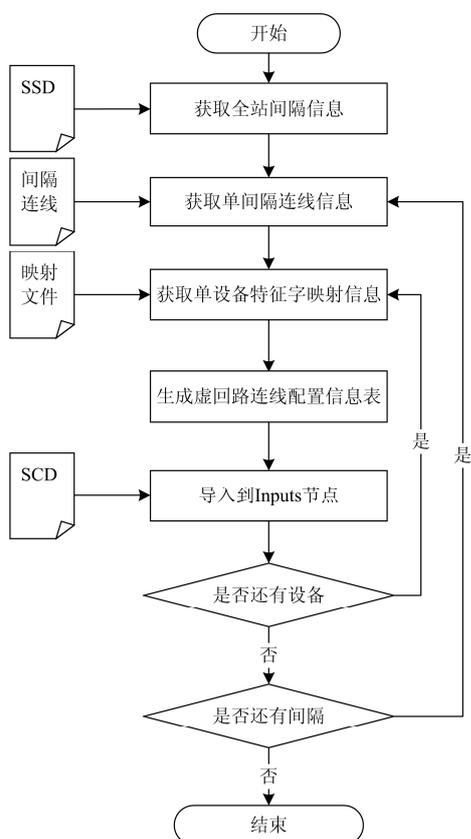


图3 虚回路连线自动生成算法

Fig. 3 Flow chart of virtual terminal connection automatically generated

#### 4) 生成虚回路连线

提取间隔内设备特征字连线信息中连线表的特征字, 根据设备特征字映射表文件中特征字与输入/输出信号的对应关系, 获取连线信息的描述或参引, 即是设备内部引用参引或描述。如果是描述, 则根据描述寻找参引; 如果是参引, 则为去掉设备名称的参引, 即 LD/DO.DA。这里假设 Ref 表示参引, Desc 表示描述, 那么参引和描述的关系应该为

$$Ref \iff Desc$$

提取间隔内设备特征字连线信息中连线表的特征字, 根据设备特征字映射表文件中特征字与输入/输出信号的对应关系, 获取连线信息的描述或参引。

根据设备类型在间隔内设备列表中查找到相应的输入/输出设备, 结合设备特征字连线信息中连线表的特征字与设备特征字映射表文件中特征字, 获取输入/输出信息对应关系表, 即虚回路连线信息表, 如式(3)所示。

这里假设特征字为 Key, “特征字映射表”为 MKey 则

$$IED.Mkey = IED.Ref + IED.Key$$

且:

$$IED.Ref \iff IED.Key \quad (1)$$

假设被连线 IED 为 InIED, 输出信号 IED 为 OutIED, 则间隔连线模板为 TBayLink 可表示为

$$TBayLink = InIED.Key + OutIED.Key$$

且:

$$InIED.Key \iff OutIED.Key \quad (2)$$

根据式(1)、式(2)就可以得到

$$InIED.Ref \iff OutIED.Ref \quad (3)$$

#### 5) 导入到 SCD 的 Inputs 节点

将内部引用地址赋给 LLN0/Inputs/Extref/intAddr 属性。外部引用地址分解后分别将相应信息赋予外部信号的 iedName、IdInst、prefix、InClass、InInst、doName、daName 属性。

### 3 应用分析

本方案的前提 SSD 设计和间隔连线设计以及特征字映射文件, 现有工程设计中也在做, 仅仅是没有形成规范化的文件而已。

SSD 文件, 是智能变电站建设中的规范性文件, 是在建设变电站初期的设计阶段的产物, 因此在连线配置实施阶段是应该已经具备的信息, 包含变电站一次拓扑关系图。

间隔连线模板, 也应该是设计阶段的产物, 即和常规变电站的设计蓝图一样, 是一种可重复使用的典型设计, 目前工程实施一样要进行连线设计。

设备的特征字映射文件, 应该是一次性的配置文件, 即在生成 ICD 文件时, 可以同时产生相应的特征字映射文件。

由分析可得出, 本方案的前提均是一次性的工作, 可重复使用, 而不同站实例化的连线却是站站不同。本方案一旦实施, 则最大限度地将重复的工作模板化, 可变的工作自动化<sup>[17]</sup>。

将本文的方法应用于典型智能变电站配置过程中<sup>[18]</sup>, 采用该方法与传统连线方式所用工时对比结果见表 3。此统计不包含 SSD 设计和间隔连线设计

表 3 实验结果

Table 3 Experiment results

电压等级/kV	设备个数	连线配置/h	自动连线配置/h
35	70	8	1
110	70	16	1
110	200	24	1
220	160	32	1
220	300	40	1
500	300	50	1

以及特征字映射文件导出。

连线配置过程中, 仅需要搜集与此站相关的 SSD、间隔连线模板和特征字映射文件。而一旦具备, 繁杂的连线工作均会在几分钟内完成。

#### 4 结束语

文中提出了一种基于特征字实现自动连线的方法, 该方法根据基于特征字的“间隔连线表”和设备“特征字映射表”, 自动生成需要关联的间隔层、过程层设备的虚回路连线表, 并导入到 SCD 中达到连线配置目的, 提高智能变电站系统配置和调试的工作效率, 降低二次虚回路连线的错误率。

随着智能变电站的自动化程度进一步提高, 智能化生产<sup>[19]</sup>、智能化调试、智能化运维和智能化检修必然会提上日程。自动生成连线属于智能化调试工作的一部分, 提高了智能变电站的自动化程度。

#### 参考文献

- [1] 张寅怀. 基于 CAD 的变电站系统规范描述文件工具软件研究[J]. 广东电力, 2012, 25(3): 31-35.  
ZHANG Yinhuai. Study on CAD-based software for system specification description file in substation[J]. Guangdong Electric Power, 2012, 25(3): 31-35.
- [2] 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.
- [3] 徐鹏, 张哲, 丁晓兵, 等. SCD 升级对二次回路影响范围定位的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(18): 140-144.  
XU Peng, ZHANG Zhe, DING Xiaobing, et al. Research on positioning the influence scope in secondary circuit by upgrading SCD[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(18): 140-144.
- [4] 高亚栋, 朱炳铨, 李慧, 等. 数字化变电站的“虚端子”设计方法应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 124-127.  
GAO Yadong, ZHU Bingquan, LI Hui, et al. Application research on design method for “virtual terminal” of digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(5): 124-127.
- [5] 侯艾君, 马凯, 刘俊红. 基于扩展 SSD 的变电站全景建模方法[J]. 广东电力, 2015, 28(12): 64-67.  
HOU Aijun, MA Kai, LIU Junhong. Panorama modeling method for substation based on system specification description[J]. Guangdong Electric Power, 2015, 28(12): 64-67.
- [6] 高磊, 杨毅, 苏麟, 等. 智能变电站二次系统物理回路建模方法及设计实现[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(24): 130-139.  
GAO Lei, YANG Yi, SU Lin, et al. A modeling approach and design implementation of secondary system physical circuit for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(24): 130-139.
- [7] 贺晓, 李俊, 陈洁羽, 等. 智能变电站配置文件管控系统建设方案研究[J]. 陕西电力, 2017, 45(8): 75-81.  
HE Xiao, LI Jun, CHEN Jieyu, et al. Construction scheme study on configuration file management and control system in intelligent substation[J]. Shaanxi Electric Power, 2017, 45(8): 75-81.
- [8] 温东旭, 杨辉, 王旭宁, 等. 电力保护装置保障性自动测试方案研究与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 135-138.  
WEN Dongxu, YANG Hui, WANG Xuning, et al. Research and practice on the scheme of automatic testing of power protection device security[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 135-138.
- [9] 杨毅, 高翔, 朱海兵, 等. 智能变电站 SCD 应用模型实例化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 107-113.  
YANG Yi, GAO Xiang, ZHU Haibing, et al. Case study on SCD application based on demo smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 107-113.
- [10] 王珍珍, 孙丹. IEC61850 配置文件测试的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 95-98.  
WANG Zhenzhen, SUN Dan. Research on testing of IEC 61850 configuration files[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 95-98.
- [11] 李红因, 李晨曦. 监控网与 GOOSE 网合一的通信网实时性分析[J]. 陕西电力, 2015, 43(4): 28-31.  
LI Hongnan, LI Chenxi. Communication network real-time analysis based on combination of MMS and GOOSE nets[J]. Shaanxi Electric Power, 2015, 45(4): 28-31.
- [12] 程延远, 杨选怀, 苏晓, 等. 基于拓扑分析的二次回路仿真算法研究[J]. 陕西电力, 2016, 44(11): 57-61.  
CHENG Yanyuan, YANG Xuanhuai, SU Xiao, et al. Study of secondary circuit simulation algorithm based on topology[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(11): 57-61.
- [13] 赵涵, 常弘, 刘晓晖, 等. 基于 IEC61850 的系统描述

- 工具中的 SSD 文件生成算法[J]. 电工电能新技术, 2010, 29(1): 67-70.
- ZHAO Han, CHANG Hong, LIU Xiaohui, et al. Algorithm of generating SSD documents in system description tool based on IEC61850[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2010, 29(1): 67-70.
- [14] 陈盼, 林传伟, 汤惠芳, 等. 基于关键字匹配的虚端子自动关联方法[J]. 继电器, 2013, 41(18): 132-137.
- CHEN Pan, LIN Chuanwei, TANG Huifang, et al. A method for virtual terminals automatic connection based on key-character matching[J]. Relay, 2013, 41(18): 132-137.
- [15] 宋杰, 高亮, 鲍伟, 等. 基于协同测试系统的智能变电站 GOOSE 虚端子关联检测研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(24): 138-142.
- SONG Jie, GAO Liang, BAO Wei, et al. Research of GOOSE virtual terminal connection test in smart substation based on collaborative testing system[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(24): 138-142.
- [16] 杜东威, 叶志锋, 许永军. 基于 GOOSE 的综合型智能分布式馈线自动化方案[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(24): 183-190.
- DU Dongwei, YE Zhifeng, XU Yongjun. A solution of integrated intelligent distributed feeder automation based on GOOSE[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(24): 183-190.
- [17] 王冬霞, 纪陵, 檀庭方, 等. 基于智能变电站二次虚回路运行维护管理系统的设计与实现[J]. 华电技术, 2016, 38(8): 19-24.
- WANG Dongxia, JI Ling, TAN Tingfang, et al. Design and implement of intelligent substation secondary circuit operating maintenance system[J]. Huadian Technology, 2016, 38(8): 19-24.
- [18] BO Z Q, LIN X N, WANG Q P, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1: 8pp. DOI 10.1186/s41601-016-0012-2
- [19] 郑新才, 丁卫华, 韩潇, 等. 基于测试模板的继电保护装置自动测试技术研究及实现[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12): 69-76.
- ZHENG Xincal, DING Weihua, HAN Xiao, et al. Research and realization of automatic testing technology for relay protection device based on test template[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(12): 69-76.

收稿日期: 2017-04-18; 修回日期: 2017-06-26

作者简介:

杨辉(1977—), 女, 本科, 工程师, 从事电力系统自动化领域的研究与开发工作; E-mail: xjtc\_yanghui@126.com

温东旭(1977—), 男, 本科, 高级工程师, 从事电力系统自动化领域的研究与开发工作。E-mail: xjtc\_wendongxu@126.com

(编辑 葛艳娜)