

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.211483

智能变电站二次设备即插即用文件自动配置 技术研究及平台研发

晁武杰¹, 唐志军¹, 林国栋¹, 江修波², 梁懿³

(1. 国网福建省电力有限公司电力科学研究院, 福建 福州 350007;
2. 福州大学, 福建 福州 350108; 3. 福建亿榕信息技术有限公司, 福建 福州 350003)

摘要: 智能变电站 SCD 文件生成复杂, 同时这些过程均需人工配置, 易由于人为因素引起错误。针对这些问题, 提出了智能变电站二次设备即插即用文件自动配置技术。首先, 对智能变电站二次设备配置文件自动生成下发的机制进行了说明, 从智能变电站二次 PNP 对象、智能变电站 PNP 注册管理和智能变电站 PNP 对象通信接口阐述了 P2P 信息交互架构。设计了配置文件自动配置逻辑, 并对 SCD 配置文件自动配置、间隔层二次设备自动配置和过程层二次设备自动配置分别进行了说明。提出了基于 IEC61850 的即插即用标准接口模型, 并对各类接口分别进行了说明。最后, 智能变电站二次设备配置文件自动配置应用证明了所设计系统的可行性。

关键词: 智能变电站; 即插即用; 文件配置; 标准接口; 二次设备

Plug-and-play file automatic configuration technology and platform development of secondary equipment in a smart substation

CHAO Wujie¹, TANG Zhijun¹, LIN Guodong¹, JIANG Xiubo², LIANG Yi³

(1. State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Fuzhou 350007, China; 2. Fuzhou University, Fuzhou 350108, China; 3. Fujian Yirong Information Techin, Fuzhou 350003, China)

Abstract: The generation of SCD files in a smart substation is complicated, and the relevant processes require manual configuration. It is easy for human error to occur. In response to this problem, a plug-and-play file automatic configuration technology for secondary equipment in a smart substation is proposed. First, the mechanism of automatic generation and distribution of configuration files for secondary equipment in a smart substation is explained. The P2P information interaction architecture is explained from the secondary PNP objects, PNP registration management, and PNP object communication interfaces of smart substations. The logic of configuration file automatic configuration is designed, and the automatic configuration of the SCD configuration file, the secondary equipment at bay level and the secondary equipment at process level are explained. A plug-and-play standard interface model based on IEC61850 is proposed, and various interfaces are explained separately. Finally, the automatic configuration application of the secondary equipment configuration file of the smart substation proves the feasibility of the designed system.

This work is supported by the Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 52130416001U).

Key words: smart substation; plug and play; file configuration; standard interface; secondary equipment

0 引言

随着电网智能化程度的提高, 智能变电站扮演着越来越重要的角色。智能变电站^[1-4]的应用不仅能

减少二次回路电缆的使用, 还能减轻变电站工作人员的压力。在对常规变电站进行改造或者智能变电站新建的过程中, 需要对智能变电站 SCD 文件进行配置, 由于配置文件配置繁琐, 仅靠人力很容易出现不必要的人为错误, 从而给智能变电站的安全运行带来隐患^[5-6], 因此, 研究智能变电站二次设备即

基金项目: 国家电网公司科技项目资助(52130416001U)

插即用文件自动配置技术有一定实际意义。

目前，对智能变电站文件配置已有相关研究。文献[7]提出基于间隔 CRC 的智能变电站二次回路配置管控方法，分析智能变电站改建扩建对母线保护配置的影响；文献[8]解决了改扩建过程中引起的 SCD 文件版本控制困难的问题，采用基于 SCD 的配置文件自动重构技术，保证在改扩建时不会被误修改；文献[9]提出了双层 CRC 校核的方法，解决智能变电站配置文件变动时校核困难的问题；文献[10]通过解析 SCD 文件利用虚端子配置信息和光纤回路相结合，展示信息的传递。

针对人工配置智能变电站 SCD 文件繁琐、易出现错误的问题，文中设计了智能变电站二次设备即插即用文件自动配置系统。首先，提出智能变电站二次设备配置文件自动配置下发系统构架，系统由注册管理中心和智能变电站二次即插即用对象构成，变电站二次设备 PNP 对象是站内二次设备的抽象，注册管理中心为实现即插即用而设立的管理协调中心。智能变电站内间隔层即插即用设备通过 DL/T 860 以及专用协议接口进行信息传递。提出了智能变电站二次设备配置文件自动配置模型和基于 IEC61850 的即插即用标准接口模型。最后，实现平台对单二次设备、间隔之间的配置文件如网络通信参数、虚端子等的自动配置和下装的可视化应用。

1 智能变电站二次设备配置文件自动配置构架

1.1 配置文件下发机制

智能变电站二次设备配置文件自动配置下发系统框架如图 1 所示。具体流程如下：(1) 自动生成及下装平台通过网线和网络交换机连接；(2) 二次设备需进行检修压板投退，否则下载流程会失败；(3) 通过文件传输协议，下载 CID 文件到二次设备；(4) 通过文件传输协议，下载配置文件到二次设备；(5) 通过文件传输协议，下载 SV/GOOSE 配置文件到二次设备；(6) 重启二次设备，配置生效。首先进行设备接入自动识别，通过监听设备是否接入实现对接入设备的识别，之后根据数字证书进行校验，校验成功后将配置文件^[11-12]等进行下装，文中根据 IEC61850 规范中规定的逻辑节点字段定义进行初步匹配及筛选，由于不同厂家关于配置信息的差异，文中对逻辑节点信息进行切片处理，再通过模糊匹配的方式，建立配置与设备的强关联属性，并且通过 IEC61850-MMS 协议进行下装，使得 IED 设备实例化。

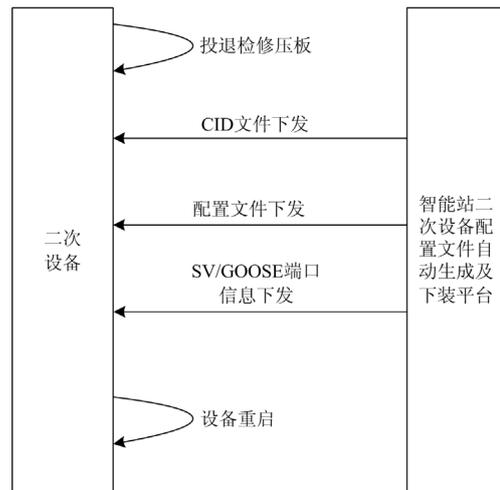


图 1 智能变电站二次设备配置文件自动配置下发系统构架
Fig. 1 Automatic configuration system framework issuance of secondary equipment configuration file of smart substation

1) CID 的配置

目前，变电站中采用自下而上和自上而下的混合方式配置文件。首先将智能变电站的 ICD 文件输送给系统的配置器。利用智能变电站的配置文件获取系统的基础信息，生成的配置文件自动返回 IED 配置器，CID 自动配置器则从上述返回的配置文件得到各智能装置的基础信息，并将这些信息输送给工程师站。

2) SV 和 GOOSE 的配置

智能变电站中智能设备的各类参数信息储存在过程层的配置文件中。通过智能设备的信息来决定虚端子的相关信息，智能变电站 SV 和 GOOSE 的配置^[13-14]如图 2 所示。

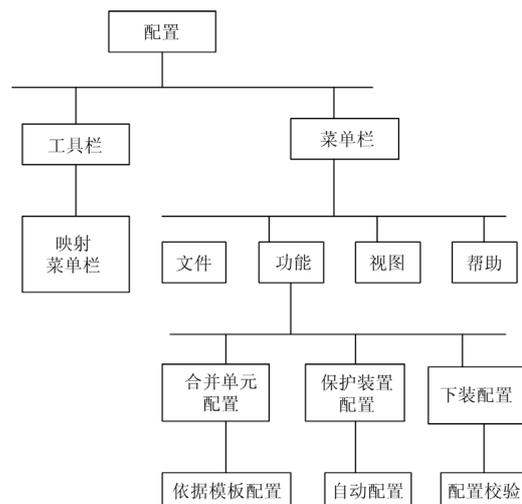


图 2 智能变电站 SV 和 GOOSE 的配置
Fig. 2 Configuration of smart substation SV and GOOSE

1.2 P2P 信息交互架构

智能变电站二次设备 PNP 是一种在注册管理中心支撑下的 P2P 信息交互架构, 如图 3 所示。系统由注册管理中心和智能变电站二次即插即用对象构成, 变电站二次设备 PNP 对象是站内二次设备的抽象, 注册管理中心为实现即插即用而设立的管理协调中心。在注册管理中心的支撑下, 智能变电站二次即插即用对象实现注册询、配置、验证等即插即用信息交互。

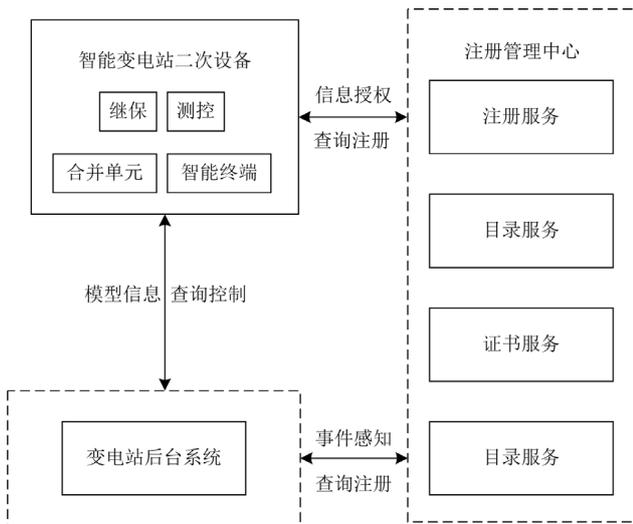


图 3 注册管理中心支撑下的 P2P 信息交互架构

Fig. 3 P2P information interaction architecture supported by the registration management center

1) 智能变电站二次 PNP 对象

智能变电站二次 PNP 对象^[15-17]是以智能变电站二次设备 IED 模型为基础, 增加了设备和系统的即插即用特性功能和通信。智能变电站二次设备之前的连接通信基于 IEC61850 IED 模型, 通过充足完善的接口保障了二次设备间信息交流。但模型在描述自身动态变化数据等功能支持上相对缺乏。通过将相关数据和功能进行抽象, 从而构建智能变电站二次 PNP 对象。智能变电站二次 PNP 对象是二次设备的物理信息系统, 如图 4 所示。

2) 智能变电站 PNP 注册管理中心

设备注册管理中心是即插即用系统协调中心, 如图 5 所示, 管理智能变电站二次设备 PNP 信息, 监视智能变电站二次设备 PNP 状态, 构建智能变电站二次设备 PNP 参数配置, 并对外提供: (a) 设备接入管控(注册)服务; (b) 设备查询(发现/认证)服务; (c) 设备模型服务; (d) 配置服务; (e) 信息校验服务; (f) 事件及状态跟踪服务。

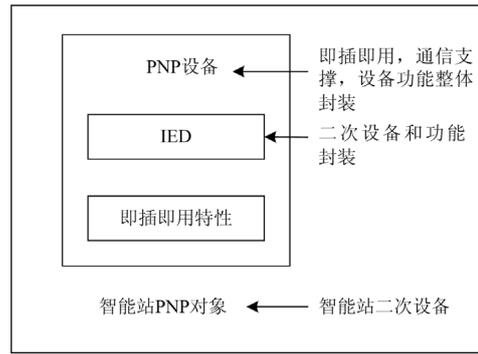


图 4 智能变电站二次 PNP 对象

Fig. 4 Smart substation secondary PNP object

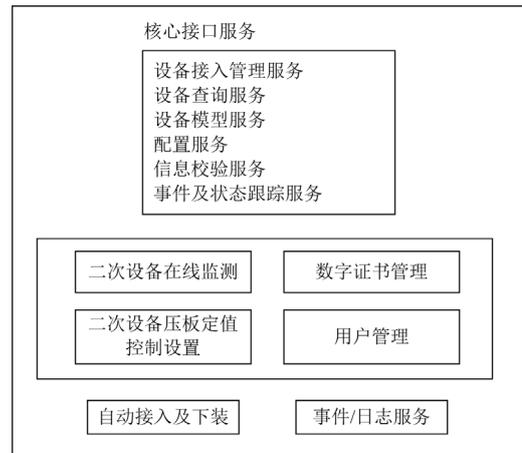


图 5 智能变电站 PNP 注册管理中心

Fig. 5 Smart substation PNP registration management center

3) 智能变电站 PNP 对象通信接口

为保证信息传递, 需要选择通信接口协议。智能变电站内间隔层即插即用设备^[18-19]通过 DL/T860 以及专用协议接口; 智能变电站站控层的智能变电站 PNP 服务(即插即用注册中心)通过 DL/T860、WSOA 以及专用协议接口; 后台系统消息接口通过 DL/T860、WSOA 以及专用协议接口; 利用站控层网络实现即插即用信息交互。如图 6 所示。

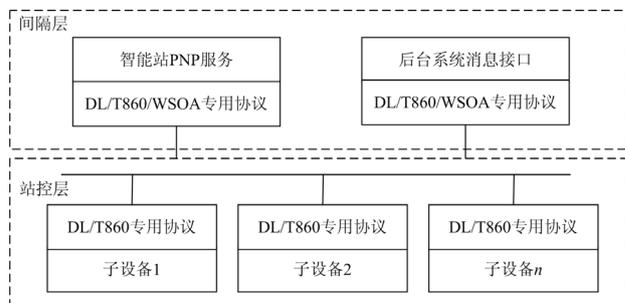


图 6 智能变电站 PNP 对象通信接口

Fig. 6 Smart substation PNP object communication interface

2 智能变电站二次设备配置文件自动配置模型

2.1 配置文件自动配置逻辑设计

对整个变电站进行设计，设计完成后出具虚端子表。保护根据整个变电站的设计规模，对每条线路上的定值进行整定，出具定值单。之后，采购二次设备，得到设备的 ICD 文件。最后，根据虚端子表、定值单、ICD 文件对 SCL 文件进行配置，生成整个站级一次端的 SSD 文件、二次端的 SCD 文件、设备端的 CID 及 CCD 文件。在整个环节当中，集成商是在变电站现场进行配置调试，众所周知，变电站现场环境比较恶劣，工作压力较大，因此导致集成商在配置 SCL 文件过程中，容易出现错误，如虚端子数量不匹配、虚端子路径错误、设备命名错误等。因此实现 SCL 文件的自动配置不仅仅减少工作量，而且大大减少了配置过程中出现错误的概率。

SCL 的自动配置，代替了集成商在现场对 SCL 文件进行配置及下装的繁琐过程。文中采用新颖的 MVC+插件化的架构技术，结合传统的 MVC 架构^[20-21]及插件化架构的优势，实现模型、视图、控制的分离，减少之间的耦合性。并且采用插件化的方式，使得整个平台更具备通用性和开放性。该架构有利于降低不同层之间的耦合，以便标准化和逻辑重复使用。如图 7 所示。

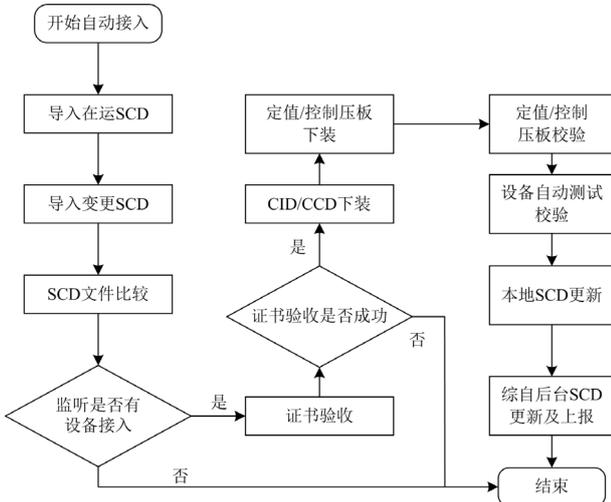


图 7 智能变电站自动配置自动下装流程图

Fig. 7 Flow chart of automatic configuration and automatic download of smart substation

2.2 SCD 配置文件自动配置

1) SCL 配置器信息模型建立

SCL 兼容模型如图 8 所示。SCL 模型包括变电

站中设备的模型、智能装置的模型、信息传递模型、功能关联模型等。变电站一次设备的信息通过智能装置传输至总线，从而实现对变电站内 SCL 配置器信息的采集。

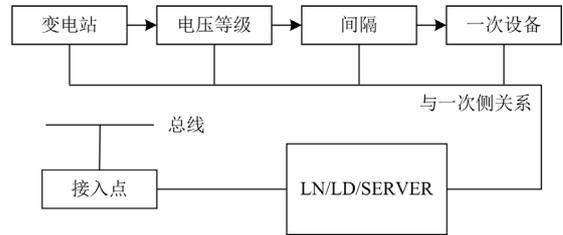


图 8 SCL 兼容模型

Fig. 8 SCL compatible model

2) IED 配置过程描述

智能装置的配置管理常采用自下而上和自上而下两种方式混用。对于智能变电站改造和重建过程中经常用到的则提前配置好。具体配置管理过程如图 9 所示。

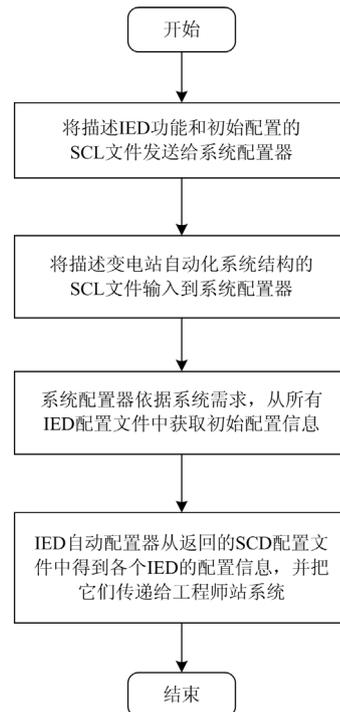


图 9 IED 配置过程描述

Fig. 9 IED configuration process description

2.3 间隔层和过程层二次设备自动配置

基于 IEC61850 文件传输方式对保护装置和测控装置等过程层设备的 CID 文件及定值、控制字、压板等信息进行自动配置。DLT860.72 文件类映射到 MMS 文件对象。如应用声明文件支持传输，应根据 MMS 文件服务实现。

过程层中包含了合并单元以及用于采集一次设备的智能终端, 智能设备的配置文件包含了该智能设备的各类配置信息。虚端子的配置通过智能设备的配置信息来实现。

2.4 配置文件自动下装

1) ACSI 文件传输模型

在 IEC61850-7-2 部分定义的抽象通信服务接口(ACSI)文件对象定义具体参见表 1。

表 1 ACSI 文件对象的定义

Table 1 Definition of ACSI file object

| 属性名称 | 属性类型 |
|------------------|------------------|
| FileName | VISIBLE SnUNC255 |
| FileSize[0...1] | INT32U |
| LastModified | TimeStamp |
| 服务 | |
| GetFile | |
| SetFile | |
| DeleteFile | |
| GetFileAttribute | |

2) 映射到 MMS

ACSI 对象映射到 MMS, 在制造报文中进行了协议的规定, 具体的映射关系参见表 2。

表 2 ACSI 文件对象到 MMS 文件对象的映射

Table 2 Mapping from ACSI file object to MMS file object

| IEC61850-7-2 File 类属性名 | MMS 文件对象属性 | m(必需) o(可选) |
|---------------------------|--------------|-------------|
| FileName | FileName | m |
| FileSize | Size | m |
| LastModified | LastModified | m |

3 基于 IEC61850 的即插即用标准接口模型

基于 IEC61850 的即插即用接口^[22-24]的示意图如图 10 所示, 接口分为: 注册管理中心与即插即用设备的标准通信接口; 注册管理中心与即插即用认证工具的标准通信接口; 注册管理中心与监控系统的标准通信接口; 注册管理中心与即插即用二次设备验证终端的标准通信接口; 即插即用二次设备验证终端与二次设备的标准通信接口。

3.1 即插即用设备与统一注册管理中心的标准通信接口

即插即用设备与统一注册管理中心的标准通信接口如图 11 所示。注册管理中心通过设备认证接口和即插即用设备相连, 设备认证过程采用 TCP 通信方式。设备发现服务接口文件如下:

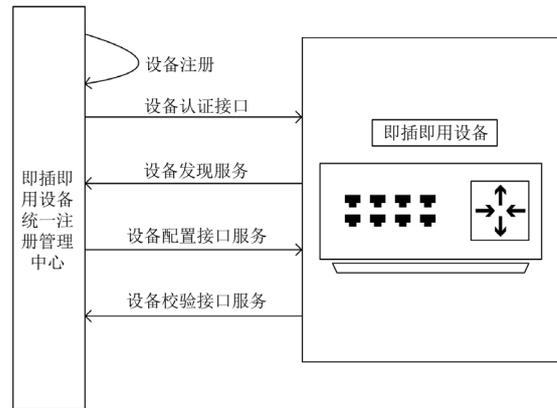


图 10 即插即用与注册管理中心通信接口

Fig. 10 Plug and play communication interface with registration management center

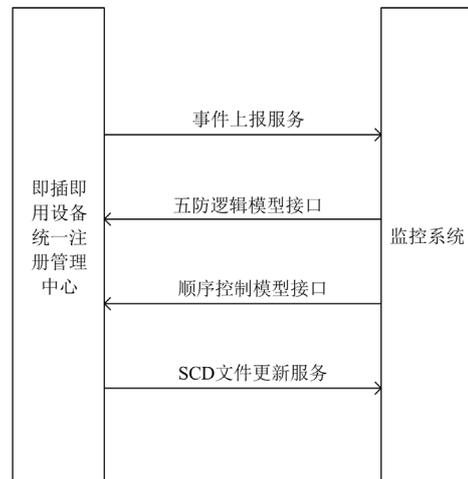


图 11 注册管理中心与监控系统通信接口

Fig. 11 Communication interface between registration management center and monitoring system

```
<FindDevList(
{
OCTSTRING: DeviceID, //设备 ID
OCTSTRING: DeviceMac, //设备 mac
OCTSTRING: DeviceIp, //设备 ip
OCTSTRING: DeviceName, //设备名
OCTSTRING: DeviceList }[], //设备列表
)"发现设备列表"/>
```

设备配置服务接口分为 SV/GOOSE 输入输出配置文件下发模型接口和设备模型(定值、控制字、压板)文件下发接口, 文件传输分别采用 MMS 文件服务传输方式和 TCP 文件传输方式。

3.2 注册管理中心与监控系统的标准通信接口

文中重点描述顺序控制下发模型接口, 其文件

格式如下:

```

< SEQUENCECONTROL(
    INT16U:ID,          //顺控 ID
    DATA:TIME,        //发送时间
    OCTSTRING:NAME,    //操作名称
    OCTSTRING:DESC,    //间隔描述
    OCTSTRING:VERSION, //版本号
    INT16U: NUMBER,    //操作步骤数
    OCTSTRING:INFO[]   //操作步骤 1... N
)
{
    OCTSTRING:ADDR,    //操作地址
    OCTSTRING:SOURCE, //控制源态
    OCTSTRING:DESC,    //目的态
}
)"顺序控制下发"/>
    
```

3.3 注册管理中心与即插即用二次设备验证终端的标准通信接口

注册管理中心与即插即用二次设备验证终端的标准通信接口示意如图 12 所示。

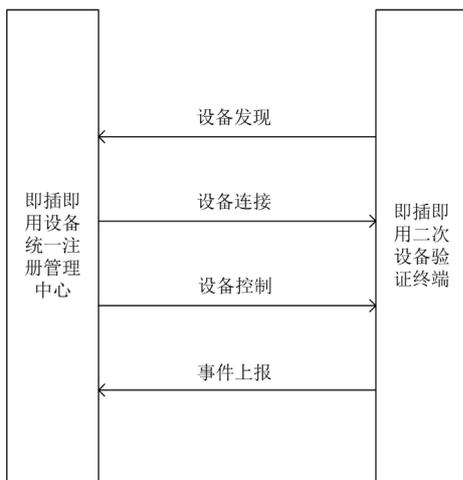


图 12 注册管理中心与即插即用二次设备验证终端的标准通信接口

Fig. 12 Standard communication interface between the registration management center and the plug-and-play secondary device verification terminal

数据上报服务上报数据类型如下:

```

< DEVEVENT(
    INT16U:ID,          //事件 ID
    DATA:TIME,        //发送时间
    OCTSTRING:DEVID,   //设备 ID
    OCTSTRING:TYPE,    //事件类型: 系统日志 业务日志 告警日志 错误日志
    OCTSTRING: LEVEL, //事件等级
    OCTSTRING:INFO,   //事件内容
)
)"设备事件信息"/>
    
```

OCTSTRING:INFO, //事件内容
)"设备事件信息"/>

3.4 即插即用二次设备验证终端与二次设备的标准通信接口

即插即用二次设备验证终端与二次设备的标准通信接口示意如图 13 所示,主要包括 SV 接收发送端口、GOOSE 接收发送端口以及 MMS 接收发送端口。SV 发送模块采用 ARM 高速 CPU 控制 FPGA^[25-26]实时发送数据, FPGA 通过控制 4 个光口网卡灵活配置发送缓冲区。SV 发送模块采用 ARM 高速 CPU 控制 FPGA 实时接收数据, 并且通过 DSP 实时运算 SV 采样。GOOSE 发信通过上位机界面配置, 调用报文编解码库进行编码并打包进行数据下发, 调用报文编解码库获取 GOOSE 配置参数并将通道数据写入 FPAG, 最后, 启动 FPAG 发送 GOOSE。对于 MMS, 通过 MMS 协议连接保护、测控设备, 分解返回值判断是否连接成功, 创建模型结构 VMD, 向服务器请求获取 Domain, 请求获取变量列表, 最后完成 MMS discover 功能得到 VMD 结构。根据 VMD 结构生成当前连接设备下的所有变量信息的变量列表, 根据需要选择需要读取值的变量, 调用 MMS_read 函数发送请求到服务器, 服务器响应得到该变量的值, 最后结合变量和变量值做保存操作。根据 VMD 结构生成当前连接设备下的所有变量信息的变量列表, 根据需要选择需要写入值的变量并修改值, 调用 MMS_write 函数发送到服务器, 服务器响应并做相应操作, 返回一个状态值, 根据状态值判断是否写操作成功。

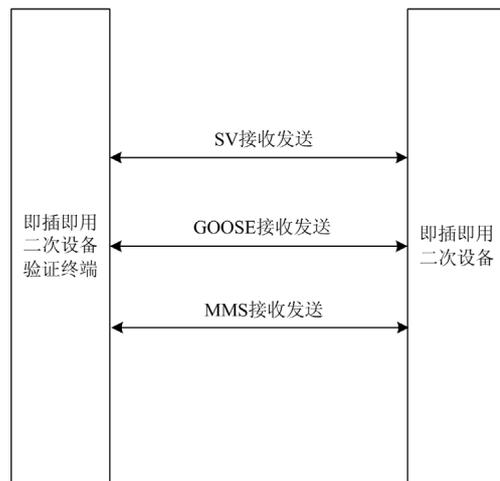


图 13 即插即用二次设备验证终端与二次设备的标准通信接口

Fig. 13 Standard communication interface between plug and play secondary equipment verification terminal and secondary equipment

4 智能变电站二次设备配置文件自动配置应用

4.1 配置文件解析

配置文件自动生成及下装, 首先识别新设备 IP 是否为 SCD 内合法的网段及 IP 号, 根据 IP 及 MAC 地址双重验证新设备 IED 是否为 SCD 内设备, 待完成注册校验后, 通过 SCD 解析, 分割出单个 IED 配置模型, 根据配置模型, 下装配置, 对设备进行实例化。文件解析界面如图 14 所示。统一注册管理中心仅提供了即插即用的平台化服务, 但还未完全满足现有智能变电站二次设备即插即用的完全应用。结合智能变电站的现状, 分析现有智能变电站 IED 人工配置过程中的问题, 制定 SCL 文件自动配置工程实施技术标准。通过研究不同厂家配置文件及配置过程的差异, 分析智能二次设备配置信息内容, 研究智能变电站 SCL 文件自动配置流程, 实现智能二次设备网络通信参数、虚端子的自动配置及自动下装。



图 14 文件解析界面

Fig. 14 File file parsing interface

4.2 自动配置下装

在设备控制管理的自动接入中, 获取文件模型, 并可以查找特定的 IED, 实现平台对单二次设备、间隔之间的配置文件如网络通信参数、虚端子等的自动配置和自动下装。自动配置下装涵盖变电站内二次设备即插即用典型应用研究和场景。在不同场景下对二次设备及系统的自动配置下装设计分析, 并在智能变电站进行验证。自动配置下装功能界面如图 15 所示。



图 15 自动配置下装功能界面

Fig. 15 Automatic configuration download function interface

4.3 动态校验

动态校验的原理是利用模型的标准化设计, 结合专家知识依次来研究测试信号产生的深层原因。研究分析虚信号回路的输入信号和输出信号之间的相互关联, 以此来进行检验的。动态校验逻辑框图如图 16 所示。文中的动态校验设计包含虚端子动态校验以及五防逻辑校验两种校验方式。其中, 虚端子动态校验基于动态校验测试系统, 比较被校验间隔的输出结果和预测结果之间的误差, 若在允许误差范围内, 则校验合格通过。五防逻辑动态校验是防止误操作, 保障人身设备安全的重要措施。五防的校验则通过对间隔名称编号的核对来实现。

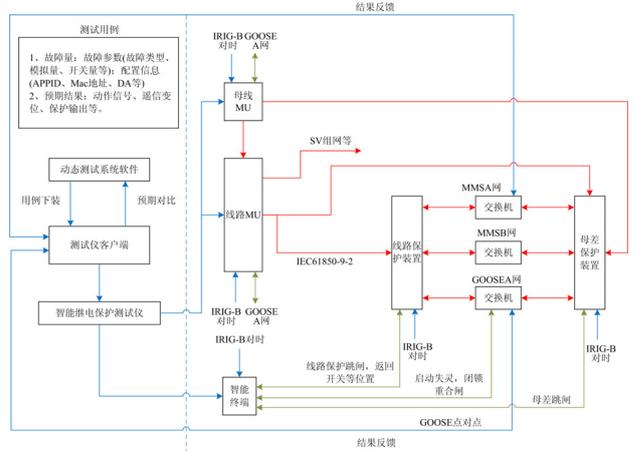


图 16 动态校验逻辑框图

Fig. 16 Dynamic check logic block diagram

5 结论

对智能变电站配置文件复杂, 人工配置存在效率低和易出错的问题, 文中提出了智能变电站二次设备即插即用文件自动配置技术。主要得到如下结论:

- 1) 设计了智能变电站二次设备配置文件自动生成及下装流程, 从智能变电站二次 PNP 对象、智能变电站 PNP 注册管理和智能变电站 PNP 对象通信接口阐述了 P2P 信息交互架构。
- 2) 提出了智能变电站二次设备配置文件自动配置模型, 实现了 SCD 配置文件和间隔层二次设备的自动配置。
- 3) 建立了基于 IEC61850 的即插即用标准接口模型; 并针对五种接口模型分别进行了描述。最后, 智能变电站二次设备配置文件自动配置应用证明了所涉及系统有助于智能变电站的实际工作。

参考文献

[1] 陈光华, 王鹏飞, 赵应兵, 等. 智能变电站智能终端自动测试仪设计[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(17):

- 162-169.
CHEN Guanghua, WANG Pengfei, ZHAO Yingbing, et al. Design of automatic tester for intelligent terminal of intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(17): 162-169.
- [2] 张峰, 韩伟, 宋闯, 等. 智能变电站光纤链路在线监测与自动化测试系统设计[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2021, 44(8): 1038-1044.
ZHANG Feng, HAN Wei, SONG Chuang, et al. Design of on-line monitoring and automated test system for optical fiber links in smart substations[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 44(8): 1038-1044.
- [3] 郑翔, 殷建军, 杜奇伟, 等. 变电站自动化设备运维管控系统及其应用[J]. 浙江电力, 2021, 40(3): 42-50.
ZHENG Xiang, YIN Jianjun, DU Qiwei, et al. Operation and maintenance control system for substation automatic equipment and its application[J]. Zhejiang Electric Power, 2021, 40(3): 42-50.
- [4] 郭小坤, 赵武智, 牛静, 等. 一种智能变电站二次设备状态评价方法[J]. 电子器件, 2021, 44(3): 664-669.
WU Xiaokun, ZHAO Wuzhi, NIU Jing, et al. A state evaluation method of secondary equipment in smart substation[J]. Electronic Devices, 2021, 44(3): 664-669.
- [5] 叶远波, 黄太贵, 谢民, 等. 基于多模型融合集成学习的智能变电站二次设备状态评估[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(12): 148-157.
YE Yuanbo, HUANG Taigui, XIE Min, et al. State assessment of secondary equipment in smart substation based on multi-model fusion integrated learning[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(12): 148-157.
- [6] 郑丽娟, 郭强, 胡翔, 等. 基于物联网信息集成的箱式变电站运行状态综合监控系统研究[J]. 华电技术, 2021, 43(1): 12-18.
ZHENG Lijuan, GUO Qiang, HU Xiang, et al. Research on comprehensive monitoring system for in-service states of prefabricated substations based on IoT information integration[J]. Huadian Technology, 2021, 43(1): 12-18.
- [7] 叶远波, 陈晓东, 项忠华, 等. 基于间隔 CRC 校验码的智能变电站改扩建配置文件定位研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(6): 173-179.
YE Yuanbo, CHEN Xiaodong, XIANG Zhonghua, et al. Research on configuration file location of smart substation reconstruction and expansion based on interval CRC check code[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(6): 173-179.
- [8] 高磊, 刘鹏, 卜强生, 等. 基于 SED 文件的智能变电站改扩建二次系统配置文件自动重构技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(12): 153-158.
GAO Lei, LIU Peng, BU Qiangsheng, et al. Research on automatic reconfiguration technology of secondary system configuration files for smart substation reconstruction and expansion based on SED files[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(12): 153-158.
- [9] 万勇, 辛建波, 谢国强, 等. 基于双层 CRC 校核的智能变电站配置文件在线诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(7): 175-180.
WAN Yong, XIN Jianbo, XIE Guoqiang, et al. On-line diagnosis method of intelligent substation configuration file based on double-layer CRC check[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(7): 175-180.
- [10] 赵晓东, 李锋, 张弛, 等. 基于 SCD 配置文件的高度可视化工具研究[J]. 电测与仪表, 2018, 55(20): 148-152.
ZHAO Xiaodong, LI Feng, ZHANG Chi, et al. Research on highly visualization tools based on SCD configuration files[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 55(20): 148-152.
- [11] 王光亮, 陈文, 唐明帅, 等. 基于相关间隔解耦的 SCD 文件管控系统设计与开发[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(11): 157-164.
WANG Guangliang, CHEN Wen, TANG Mingshuai, et al. Design and development of SCD file management and control system based on correlation interval decoupling[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(11): 157-164.
- [12] 王小立, 刘海涛, 张旭丰, 等. 基于网络分析仪的智能变电站配置文件在线管控研究与应用[J]. 中国电力, 2017, 50(8): 141-145.
WANG Xiaoli, LIU Haitao, ZHANG Xufeng, et al. Research and application of online management and control of smart substation configuration files based on network analyzer[J]. Electric Power, 2017, 50(8): 141-145.
- [13] 黄忠胜, 刘娟. 采用 SV 和 GOOSE 共口传输的过程层组网方案[J]. 电力系统及其自动化学报, 2019, 31(3): 102-106.
HUANG Zhongsheng, LIU Juan. The process layer networking scheme adopting SV and GOOSE common port transmission[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2019, 31(3): 102-106.
- [14] 方志斌. 智能变电站银塘变网络配置及报文分析[D]. 福州: 福州大学, 2017.
FANG Zhibin. Network configuration and message analysis of Yintang substation of smart substation[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2017.

- [15] 周晓春, 梁军, 陈龙, 等. 智能网联车即插即用组网模型及决策融合算法[J]. 中国机械工程, 2021, 32(16): 1983-1993.
ZHOU Xiaochun, LIANG Jun, CHEN Long, et al. Plug-and-play networking model and decision fusion algorithm for intelligent networked vehicles[J]. China Mechanical Engineering, 2021, 32(16): 1983-1993.
- [16] 龙可, 吕良庆. 星载 CAN 总线即插即用解决方案[J]. 计算机工程与设计, 2021, 42(6): 1763-1771.
LONG Ke, LÜ Liangqing. On-board CAN bus plug and play solution[J]. Computer Engineering and Design, 2021, 42(6): 1763-1771.
- [17] 吴海, 滕贤亮, 周成, 等. 基于 IEC 61850 的台区设备即插即用实现方法[J]. 南方电网技术, 2021, 15(5): 72-78.
WU Hai, TENG Xianliang, ZHOU Cheng, et al. Implementation method of plug and play for station area equipment based on IEC 61850[J]. Southern Power System Technology, 2021, 15(5): 72-78.
- [18] 李官军, 胡安平, 杨婷, 等. 电池储能电站即插即用运行控制技术研究[J]. 电测与仪表, 2021, 58(2): 59-67.
LI Guanjun, HU Anping, YANG Ting, et al. Research on plug and play operation control technology of battery energy storage power station[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2021, 58(2): 59-67.
- [19] 钟加勇, 熊小伏, 何迎春, 等. 面向台区智能终端的即插即用和拓扑识别方法[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(10): 166-173.
ZHONG Jiayong, XIONG Xiaofu, HE Yingchun, et al. Plug-and-play and topology identification method for intelligent terminals in station area[J]. Automation of Electric Power Systems, 2021, 45(10): 166-173.
- [20] 何淼, 王浩, 黄勇, 等. 基于 MVC 分布框架的破片战斗部仿真系统设计[J]. 系统仿真学报, 2020, 32(9): 1744-1752.
HE Miao, WANG Hao, HUANG Yong, et al. Design of fragmentation warhead simulation system based on MVC distributed framework[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(9): 1744-1752.
- [21] 朱丽华, 孙江涛, 周梦茹. 基于 Spring MVC 架构的舞蹈视频教学系统的设计与实现[J]. 现代电子技术, 2019, 42(7): 71-73, 78.
ZHU Lihua, SUN Jiangtao, ZHOU Mengru. Design and implementation of dance video teaching system based on Spring MVC architecture[J]. Modern Electronic Technology, 2019, 42(7): 71-73, 78.
- [22] 宋鹏飞. 铁路联锁与调度集中标准接口规范缺陷分析及升级研究[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(5): 138-142.
SONG Pengfei. Defect analysis and upgrade research on standard interface specification of railway interlocking and dispatching centralization[J]. Railway Standard Design, 2019, 63(5): 138-142.
- [23] 王松, 陈早, 陈明. 智能变电站继电保护免配置文件技术探讨[J]. 浙江电力, 2021, 40(8): 65-71.
WANG Song, CHEN Zao, CHEN Ming. Discussion on configuration file free technology of relay protection in smart substation[J]. Zhejiang Electric Power, 2021, 40(8): 65-71.
- [24] 刘鹏, 吕广宪, 康先果, 等. 基于 IEC 61968 的配电网信息交互一致性测试技术应用[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(6): 142-146.
LIU Peng, LÜ Guangxian, KANG Xianguo, et al. Application of IEC 61968-based distribution network information interaction consistency test technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(6): 142-146.
- [25] 吴盼, 汪可友, 徐晋, 等. 基于 CPU-FPGA 异构平台的虚拟同步并网逆变器实时仿真算法设计[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(14): 85-94.
WU Pan, WANG Keyou, XU Jin, et al. Real-time simulation algorithm design of a virtual synchronous grid-connected inverter system based on a CPU-FPGA heterogeneous platform[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(7): 175-180.
- [26] 王斐, 赵牛杰, 郝志超, 等. 基于 STM32 与 FPGA 的信号采集电路设计[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 204-210.
WANG Fei, ZHAO Niujie, HAO Zhichao, et al. Design of signal acquisition circuit based on STM32 and FPGA[J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2018, 39(2): 204-210.

收稿日期: 2021-11-03; 修回日期: 2021-12-26

作者简介:

晁武杰(1983—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为继电保护、电力系统自动化; E-mail: chaowj1983@163.com

唐志军(1973—), 男, 硕士, 教授级高工, 研究方向为继电保护、电力系统自动化;

林国栋(1974—), 男, 高级工程师, 研究方向为继电保护、电力系统自动化。

(编辑 张爱琴)