

DOI: 10.7667/PSPC151043

基于 IEC 61850 的在线监测装置通信仿真系统开发与应用

翟瑞聪, 谢善益, 范颖, 周刚

(广东电网有限责任公司电力科学研究院, 广东 广州 510600)

摘要: 为了对电力设备在线监测系统互操作测试和雪崩测试, 提出了基于 IEC 61850 在线监测装置通信仿真系统的实现方法。该系统通过加载在线监测装置的 SCL 信息模型描述文件, 模拟出间隔层各类型在线监测装置的数据通信行为, 实现对站控层系统进行模拟仿真测试。实践证明, 在线监测装置通信仿真系统在质量检测和工程调试上不仅缩短了测试周期, 而且降低了测试难度。

关键词: IEC 61850; 在线监测; MMS 通信; 仿真系统; 互操作测试; 雪崩测试

Development and application of the communication simulation system for the online monitoring device based on IEC 61850

ZHAI Ruicong, XIE Shanyi, FAN Ying, ZHOU Gang

(Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510600, China)

Abstract: The realization method of communication simulation system for the IEC 61850-based online monitoring devices is presented for the interoperability and avalanche tests of online monitoring systems for electrical equipment. This system simulates various types of data communications between online monitoring devices in the bay level through loads of SCL information model description files for the online monitoring devices, hence the analog simulation tests for the systems in the station level are realized. It is proved that the communication simulation system for online monitoring devices may not only shorten the test cycles but also reduce test difficulties during quality tests and project debugging.

Key words: IEC 61850; on-line monitoring; MMS communication; simulation system; interoperability test; avalanche test

0 引言

随着电力设备在线监测技术的迅猛发展^[1-4], IEC 61850 标准^[5-7]已广泛应用于在线监测系统的网络化通信和信息共享, 有效解决了在线监测装置种类繁多、信息模型和数据传输形式不一致等问题, 实现了变电站各个层级的在线监测装置之间的互联互通和即插即用^[8]。

在工程实施和系统测试过程中, 发现在线监测装置运行方式多样、数据规模较大, 造成了变电站站控层在线监测系统或设备的调试工作量大、复杂度高、效率低等问题。测试工作中采用仿真形式的 IEC 61850 服务端软件^[9]替代实际的在线监测装置, 可有效解决上述难题。但传统的 IEC 61850 服务端软件存在不足: (a) 仅能模拟出部分通用的 MMS 通信服务和固定的监测数据, 无法根据不同的装置类型形成不同的监测数据和谱图文件; (b) 缺少在线监测历史数据的访问功能, 造成通信模型测试缺乏全

面性; (c) 不能同时模拟多个在线监测装置, 导致雪崩测试难以开展。

因此, 本文提出了一种基于 IEC 61850 在线监测装置通信仿真系统的实现方法, 实现对在线监测系统或设备全面的、高效的模拟仿真测试, 简化调试流程, 缩短工程周期。

1 系统顶层构思

基于 IEC 61850 在线监测装置通信仿真系统主要应用于电力设备在线监测系统的 IEC 61850 客户端通信测试, 比如监测子系统、状态监测网关、综合处理单元及其他 IEC 61850 客户端。

为操作方便和节省硬件资源, 系统应同时具备单机独立运行和联机集群运行两种模式, 即根据硬件资源实际情况, 系统可灵活部署在单台 PC 机或多台 PC 机上, 通过运行策略配置同时进行多台在线监测装置的通信仿真。系统由系统操作台、装置仿真器和仿真数据库 3 部分组成, 如图 1 所示。其

中，系统操作台作为系统集中式管理控制的核心模块，能灵活配置仿真策略和管理各个装置仿真器；装置仿真器根据系统操作台设定的运行参数启动，并从仿真数据库中提取仿真配置信息和 SCL 模型文件，从而模拟出不同类型的在线监测装置仿真实例，每个仿真实例视为一台在线监测仿真装置与 IEC 61850 客户端进行通信；仿真数据库作为系统的存储介质，用于存放仿真配置信息、SCL 模型文件、仿真历史数据等。

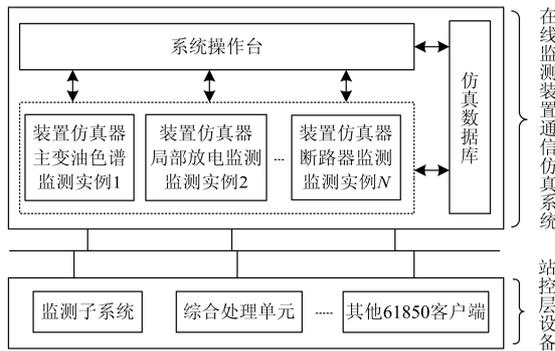


图 1 系统顶层架构图

Fig. 1 Top-level architecture of the simulation system

2 系统功能需求分析

在线监测装置通信仿真系统的功能需求主要包括通信行为模拟、装置仿真实例并行和人机界面 3 部分。

(1) 通信行为模拟。在线监测装置通信仿真系统需模拟在线监测装置的通信行为包括遥信和遥测数据上送、定值操作、谱图文件传输、历史数据读取等。其中，遥信和遥测数据由系统配置的数据仿真策略自动生成，策略包括步进变化、随机变化和真实数据回放，同时运行在测试运行过程中手动修改实时值；对于定值操作的模拟，系统根据 SCL 模型文件的定值配置信息启动定值状态机，并实时响应 IEC 61850 客户端的定值操作请求；谱图文件传输行为只对油气在线监测、局部放电在线监测和断路器机械特性在线监测等具有谱图生成功能的装置进行仿真，系统根据 SCL 模型文件的谱图建模信息和谱图仿真策略启动谱图文件生成程序，仿真实例截取当前的数据断面生成相应的谱图文件，并立即产生谱图文件完成信号以通知 IEC 61850 客户端；为检验 IEC 61850 客户端的历史数据读取功能，系统对遥信和遥测数据的数值、品质、时标采用数据变化策略进行历史存储，并以 MMS 日志服务^[10]实时响应 IEC 61850 客户端的历史数据读取请求。

(2) 装置仿真实例并行。系统要求在同一台 PC

机上能够同时模拟出多个不同类型的在线监测装置仿真实例，并根据系统预设的 IP 地址列表为每个仿真实例分配独立的 IP 地址。每个仿真实例扮演一个 IEC61850 服务端角色，实现与多个 IEC 61850 客户端进行通信，支持的 MMS 服务包括关联、目录、数据读写、数据集、报告、日志、文件传输、定值、替代等。

(3) 人机界面。系统应具有界面友好、操作简便的人机交互接口，包括：a)能统一配置、启动和关闭多个在线监测装置仿真实例；b)能对每个仿真实例的数据变化和谱图文件生成进行在线操作；c)能对仿真实例的数据、数据集、控制块、谱图文件进行实时浏览；d)能实时监视系统运行状态，如仿真实例数量、数据生成和发送、网络连接状态等；e)能保存全部的由数据变化和手动修改形成的报告记录和日志记录，以便历史数据查询。

3 系统详细设计

在线监测装置通信仿真系统由系统操作台、装置仿真器和仿真数据库 3 个模块组成，各模块的调用流程如图 2 所示。

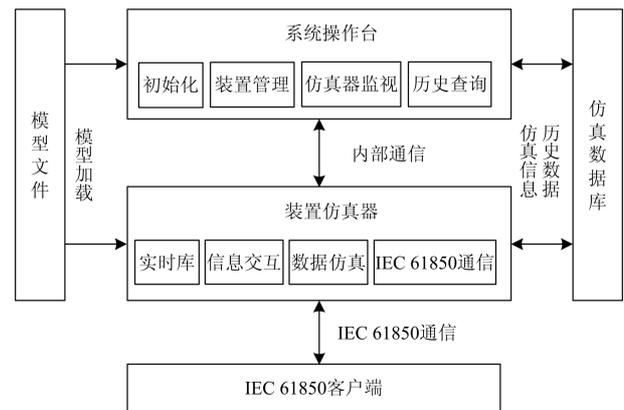


图 2 各系统模块间的调用关系图

Fig. 2 Diagram of call relationships between various system modules

a) 系统操作台加载及解析 SCL 模型文件，通过 SCL Schema 校验^[11-12]后提取装置配置信息进行模型文件的数据序列化；

b) 根据系统全局仿真配置信息、预设的装置仿真策略和分配的 IP 地址，自动生成在线监测装置仿真实例，同时将相关仿真实例信息存入仿真数据库；

c) 此时，用户可选中某几个需模拟的仿真实例启动装置仿真器，装置仿真器根据设定的仿真配置策略模拟出相应的多个仿真实例；

d) 同时，装置仿真器通过解析 SCL 模型文件和

读取仿真数据库中的装置数据序列化信息, 建立起与系统操作台的数据映射, 并创建装置仿真器的内存实时库;

e) 内存实时库创建完毕后, 装置仿真器首先启动信息交互模块实时接收及处理系统操作台下发的仿真指令, 再启动数据仿真模块执行数据仿真策略, 最后启动 IEC 61850 通信服务模块进行与 IEC 61850 客户端的数据通信;

f) 系统运行过程中, 系统操作台通过内部通信对装置仿真器进行实时监控和管理, 同时装置仿真器记录数据仿真的整个过程, 以便历史查询。

3.1 系统操作台设计

系统操作台作为系统集中式管理控制的核心模块, 主要包括仿真参数配置、仿真装置管理和仿真器实时管理等三大功能模块, 如图 3 所示。

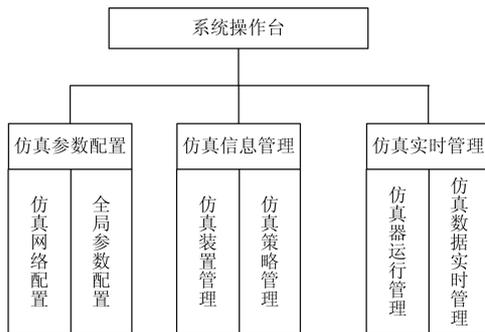


图 3 系统操作台功能设计图

Fig. 3 Functional design for system console

3.1.1 仿真参数配置

系统操作台启动后, 仿真参数配置模块先对数据变化周期、日志保存最大条目数、文件存储最大条目数等默认仿真参数进行配置, 然后根据用户设定的网络参数设置操作系统的网络环境, 为在线监测装置仿真实例生成默认仿真策略、自动分配网络地址等做好准备。

3.1.2 仿真信息管理

仿真信息管理模块由仿真装置管理和仿真策略配置两部分程序组成。

仿真装置管理程序对 SCL 模型文件进行加载、解析和校验, 在确保 SCL 模型文件正确的前提下, 根据模型数据的功能约束对数据对象进行分类和序列化, 同时根据预设的装置仿真策略和 IP 地址自动设定在线监测装置仿真实例的运行参数, 并将最终生成的仿真实例信息存入仿真数据库。

仿真策略配置程序用于仿真数据库中在线监测装置仿真实例的仿真策略的定制化修改。装置仿真策略分为默认策略和定制策略。在默认策略模式下,

装置仿真器对遥信、遥测数据进行周期性的随机变化或步进变化的数据模拟, 同时周期性地截取当前的数据断面生成相应的谱图文件; 在定制策略模式下, 装置仿真器根据用户定制的策略进行个性化的数据模拟, 比如变压器油气监测装置每当油色谱检测动作完成后立即根据监测结果生成变压器油中溶解气体出峰图。两种仿真策略应用场景有所差异, 默认策略常用于雪崩测试, 定制策略一般用于互操作测试。

3.1.3 仿真实时管理

仿真实时管理模块采用进程池技术进行所有在线监测装置仿真实例的一体化管理。模块为每个仿真实例分配独立的进程资源, 并相应建立仿真实例的运行工况报表, 这样能够实时刷新所有仿真实例的运行状态。同时, 用户可随时启动或停止任意多个仿真实例, 有利于各种连接中断恢复测试场景的模拟。

由于模块为每个仿真实例开辟了单独的网络套接字通信, 因此用户可随时进行数据变化模拟。运行时, 仿真实例与系统操作台时刻保持内部通信, 仿真实例主动上送仿真数据以供系统操作台实时显示, 与此同时系统操作台也可下发仿真指令修改仿真数据状态。

3.2 装置仿真器设计

装置仿真器负责在线监测装置仿真实例的具体实现。其单个实例的运行流程如图 4 所示。

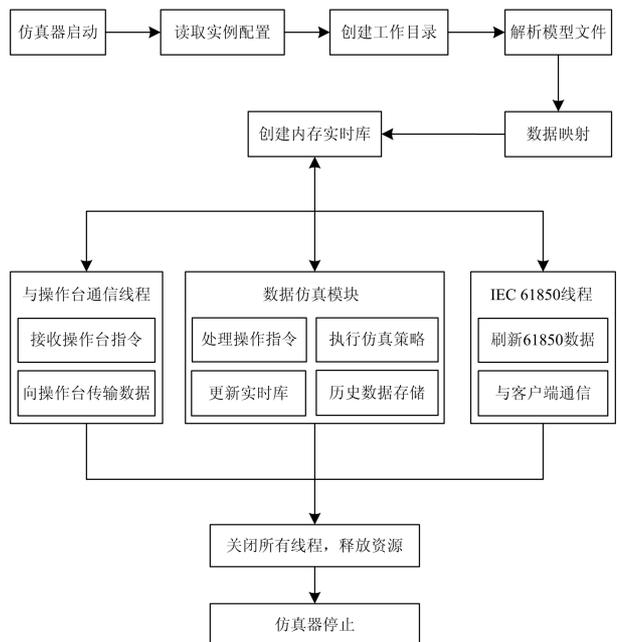


图 4 装置仿真器的实例运行流程图

Fig. 4 Working flow chart of the device simulator

a) 装置仿真器启动后, 读取仿真数据库中在线监测装置仿真实例的相关配置, 开始初始化实例, 实例化过程分“两步走”;

b) 实例化第一步为根据仿真实例配置建立仿真实例的工作目录, 该目录用于存储运行日志文件、谱图文件和模型文件;

c) 实例化第二步为将解析后的 SCL 模型, 映射至系统操作台的实时数据, 并创建相应的内存实时库, 此时实例初始化结束;

d) 在实例初始化结束后, 启动与系统操作台联络的通信线程, 装置仿真器内存实时库中的数据实时更新至系统操作台, 同时接收系统操作台下发的仿真指令, 解析后提交给数据仿真模块进行处理;

e) 随后, 启动数据仿真模块, 根据设定的仿真策略进行数据变化模拟和谱图文件生成, 并实时刷新装置仿真器的内存实时库;

f) 最后, 启动 IEC 61850 通信线程, 刷新数据的同时与 IEC 61850 客户端进行通信;

g) 此外, 当接收到系统操作台下发的关闭指令时, 装置仿真器将关闭所有线程释放资源, 随之终止运行。

3.3 仿真数据库设计

为方便各系统模块实现内部数据映射和快速检索数据地址, 仿真数据库设计了各类数据表, 包括仿真系统信息表、仿真装置实例信息表、逻辑设备信息表、数据集信息表、测点信息表、日志控制块信息表、报告控制块信息表、定制控制块信息表、日志历史表等。其表结构如图 5 所示。

系统信息表	逻辑设备信息表	测点信息表	报告控制块信息表																																																																										
<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>序号</td><td>text</td></tr> <tr><td>IP地址1</td><td>text</td></tr> <tr><td>IP地址2</td><td>text</td></tr> <tr><td>数据变化周期</td><td>int</td></tr> <tr><td>文件保存数目</td><td>int</td></tr> <tr><td>日志保存数目</td><td>int</td></tr> <tr><td>网络接口</td><td>text</td></tr> <tr><td>子网掩码</td><td>text</td></tr> <tr><td>远控地址</td><td>text</td></tr> </table>	列名	数据类型	序号	text	IP地址1	text	IP地址2	text	数据变化周期	int	文件保存数目	int	日志保存数目	int	网络接口	text	子网掩码	text	远控地址	text	<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>IED序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>LD序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>逻辑设备名</td><td>text</td></tr> <tr><td>逻辑设备描述</td><td>text</td></tr> </table>	列名	数据类型	IED序号	int	LD序号	int	逻辑设备名	text	逻辑设备描述	text	<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>IED序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>LD序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>数据集序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>测点ID</td><td>int</td></tr> <tr><td>测点描述</td><td>text</td></tr> <tr><td>测点属性名</td><td>text</td></tr> <tr><td>测点类型</td><td>text</td></tr> <tr><td>步定值</td><td>real</td></tr> <tr><td>测点初始值</td><td>real</td></tr> <tr><td>测点结束值</td><td>real</td></tr> <tr><td>测点品质</td><td>text</td></tr> </table>	列名	数据类型	IED序号	int	LD序号	int	数据集序号	int	测点ID	int	测点描述	text	测点属性名	text	测点类型	text	步定值	real	测点初始值	real	测点结束值	real	测点品质	text	<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>IED序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>LD序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>报告控制块ID</td><td>int</td></tr> <tr><td>报告控制块名</td><td>text</td></tr> <tr><td>报告ID</td><td>text</td></tr> <tr><td>数据值</td><td>text</td></tr> <tr><td>是否缓存</td><td>text</td></tr> <tr><td>报告控制块描述</td><td>text</td></tr> <tr><td>报告实例数</td><td>int</td></tr> </table>	列名	数据类型	IED序号	int	LD序号	int	报告控制块ID	int	报告控制块名	text	报告ID	text	数据值	text	是否缓存	text	报告控制块描述	text	报告实例数	int
列名	数据类型																																																																												
序号	text																																																																												
IP地址1	text																																																																												
IP地址2	text																																																																												
数据变化周期	int																																																																												
文件保存数目	int																																																																												
日志保存数目	int																																																																												
网络接口	text																																																																												
子网掩码	text																																																																												
远控地址	text																																																																												
列名	数据类型																																																																												
IED序号	int																																																																												
LD序号	int																																																																												
逻辑设备名	text																																																																												
逻辑设备描述	text																																																																												
列名	数据类型																																																																												
IED序号	int																																																																												
LD序号	int																																																																												
数据集序号	int																																																																												
测点ID	int																																																																												
测点描述	text																																																																												
测点属性名	text																																																																												
测点类型	text																																																																												
步定值	real																																																																												
测点初始值	real																																																																												
测点结束值	real																																																																												
测点品质	text																																																																												
列名	数据类型																																																																												
IED序号	int																																																																												
LD序号	int																																																																												
报告控制块ID	int																																																																												
报告控制块名	text																																																																												
报告ID	text																																																																												
数据值	text																																																																												
是否缓存	text																																																																												
报告控制块描述	text																																																																												
报告实例数	int																																																																												
<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>IED序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>IED名</td><td>text</td></tr> <tr><td>IED描述</td><td>text</td></tr> <tr><td>装置IP地址</td><td>text</td></tr> <tr><td>模型文件路径</td><td>text</td></tr> <tr><td>谱图文件路径</td><td>text</td></tr> <tr><td>文件生成周期</td><td>int</td></tr> <tr><td>逻辑设备数目</td><td>int</td></tr> <tr><td>逻辑节点数目</td><td>int</td></tr> <tr><td>数据对象数目</td><td>int</td></tr> <tr><td>访问点</td><td>text</td></tr> <tr><td>生成时间</td><td>text</td></tr> </table>	列名	数据类型	IED序号	int	IED名	text	IED描述	text	装置IP地址	text	模型文件路径	text	谱图文件路径	text	文件生成周期	int	逻辑设备数目	int	逻辑节点数目	int	数据对象数目	int	访问点	text	生成时间	text	<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>IED序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>LD序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>数据集序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>数据集名</td><td>text</td></tr> <tr><td>数据集描述</td><td>text</td></tr> </table>	列名	数据类型	IED序号	int	LD序号	int	数据集序号	int	数据集名	text	数据集描述	text	<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>IED序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>LD序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>日志控制块ID</td><td>int</td></tr> <tr><td>日志控制块名</td><td>text</td></tr> <tr><td>日志名</td><td>text</td></tr> <tr><td>数据集名</td><td>text</td></tr> <tr><td>控制块描述</td><td>text</td></tr> </table>	列名	数据类型	IED序号	int	LD序号	int	日志控制块ID	int	日志控制块名	text	日志名	text	数据集名	text	控制块描述	text	<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>IED序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>LD序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>报告控制块ID</td><td>int</td></tr> <tr><td>报告控制块名</td><td>text</td></tr> <tr><td>报告ID</td><td>text</td></tr> <tr><td>数据值</td><td>float</td></tr> <tr><td>数据品质</td><td>int</td></tr> <tr><td>数据标识</td><td>int</td></tr> <tr><td>触发原因</td><td>tinyint</td></tr> </table>	列名	数据类型	IED序号	int	LD序号	int	报告控制块ID	int	报告控制块名	text	报告ID	text	数据值	float	数据品质	int	数据标识	int	触发原因	tinyint
列名	数据类型																																																																												
IED序号	int																																																																												
IED名	text																																																																												
IED描述	text																																																																												
装置IP地址	text																																																																												
模型文件路径	text																																																																												
谱图文件路径	text																																																																												
文件生成周期	int																																																																												
逻辑设备数目	int																																																																												
逻辑节点数目	int																																																																												
数据对象数目	int																																																																												
访问点	text																																																																												
生成时间	text																																																																												
列名	数据类型																																																																												
IED序号	int																																																																												
LD序号	int																																																																												
数据集序号	int																																																																												
数据集名	text																																																																												
数据集描述	text																																																																												
列名	数据类型																																																																												
IED序号	int																																																																												
LD序号	int																																																																												
日志控制块ID	int																																																																												
日志控制块名	text																																																																												
日志名	text																																																																												
数据集名	text																																																																												
控制块描述	text																																																																												
列名	数据类型																																																																												
IED序号	int																																																																												
LD序号	int																																																																												
报告控制块ID	int																																																																												
报告控制块名	text																																																																												
报告ID	text																																																																												
数据值	float																																																																												
数据品质	int																																																																												
数据标识	int																																																																												
触发原因	tinyint																																																																												
<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>IED序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>LD序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>定制控制块ID</td><td>int</td></tr> <tr><td>定制控制块描述</td><td>text</td></tr> <tr><td>定制区数目</td><td>int</td></tr> </table>	列名	数据类型	IED序号	int	LD序号	int	定制控制块ID	int	定制控制块描述	text	定制区数目	int	<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>IED序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>LD序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>数据集序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>数据集名</td><td>text</td></tr> <tr><td>数据集描述</td><td>text</td></tr> </table>	列名	数据类型	IED序号	int	LD序号	int	数据集序号	int	数据集名	text	数据集描述	text	<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>IED序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>LD序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>日志控制块ID</td><td>int</td></tr> <tr><td>日志控制块名</td><td>text</td></tr> <tr><td>日志名</td><td>text</td></tr> <tr><td>数据集名</td><td>text</td></tr> <tr><td>控制块描述</td><td>text</td></tr> </table>	列名	数据类型	IED序号	int	LD序号	int	日志控制块ID	int	日志控制块名	text	日志名	text	数据集名	text	控制块描述	text	<table border="1"> <tr><th>列名</th><th>数据类型</th></tr> <tr><td>条目号</td><td>int</td></tr> <tr><td>条目时间</td><td>int</td></tr> <tr><td>数据集名</td><td>nvarchar(1)</td></tr> <tr><td>数据序号</td><td>int</td></tr> <tr><td>数据ID</td><td>nvarchar(1)</td></tr> <tr><td>数据类型</td><td>int</td></tr> <tr><td>数据值</td><td>float</td></tr> <tr><td>数据品质</td><td>int</td></tr> <tr><td>数据标识</td><td>int</td></tr> <tr><td>触发原因</td><td>tinyint</td></tr> </table>	列名	数据类型	条目号	int	条目时间	int	数据集名	nvarchar(1)	数据序号	int	数据ID	nvarchar(1)	数据类型	int	数据值	float	数据品质	int	数据标识	int	触发原因	tinyint												
列名	数据类型																																																																												
IED序号	int																																																																												
LD序号	int																																																																												
定制控制块ID	int																																																																												
定制控制块描述	text																																																																												
定制区数目	int																																																																												
列名	数据类型																																																																												
IED序号	int																																																																												
LD序号	int																																																																												
数据集序号	int																																																																												
数据集名	text																																																																												
数据集描述	text																																																																												
列名	数据类型																																																																												
IED序号	int																																																																												
LD序号	int																																																																												
日志控制块ID	int																																																																												
日志控制块名	text																																																																												
日志名	text																																																																												
数据集名	text																																																																												
控制块描述	text																																																																												
列名	数据类型																																																																												
条目号	int																																																																												
条目时间	int																																																																												
数据集名	nvarchar(1)																																																																												
数据序号	int																																																																												
数据ID	nvarchar(1)																																																																												
数据类型	int																																																																												
数据值	float																																																																												
数据品质	int																																																																												
数据标识	int																																																																												
触发原因	tinyint																																																																												

图 5 仿真数据库的表结构设计

Fig. 5 Table structure design for simulation database

4 应用情况

本文提出的基于 IEC 61850 的在线监测装置通

信仿真系统, 已在广东电网电力设备在线监测系统的质量检测和工程调试得以成功应用。2014 年 10 月至 12 月, 借助通信仿真系统进行了 6 套不同厂家综合处理单元(该设备用于监测数据的汇聚传输)的质量检测, 在功能测试和雪崩测试上发挥重要作用。此外, 截至 2015 年 6 月, 广东电网 220 kV 琴韵站、220 kV 环澳站等 38 座变电站在线监测系统工程调试中积极推广应用通信仿真系统, 大大缩短了调试周期, 获得供电局的一致认可。

5 结语

随着电力设备在线监测技术的深入应用, 在线监测系统的的质量检测和工程调试工作量日益增多、工作要求日益严格, 基于 IEC 61850 的在线监测装置通信仿真系统的提出无疑有效地解决了在线监测系统调试工作量大、复杂度高、效率低等问题。系统通过加载在线监测装置的 SCL 信息模型描述文件, 模拟出间隔层各类型在线监测装置的数据通信行为, 实现对站控层系统进行全方位的互操作测试和雪崩测试, 及早发现数据通信方面的缺陷和隐患, 确保在线监测数据准确、稳定上送主站系统, 有力推动了在线监测系统“替代式”检测模式在实际工程中的广泛应用。

参考文献

[1] 韩如月, 李俊刚, 宋小会, 等. 输变电设备状态监测系统的设计[J]. 高压电器, 2012, 48(1): 58-63.
HAN Ruyue, LI Jungang, SONG Xiaohui, et al. Design of condition monitoring system for power transmission and transformation equipment[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(1): 58-63.

[2] 文德斌. 油色谱在绝缘在线监测系统中的应用研究[J]. 电气传动自动化, 2013, 35(6): 40-44.
WEN Debin. Application research of oil chromatographic in insulation on-line monitoring system[J]. Electric Drive Automation, 2013, 35(6): 40-44.

[3] 王平, 许琴, 王林泓, 等. 电力设备局部放电信号的在线检测系统研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 190-194.
WANG Ping, XU Qin, WANG Linhong, et al. Research of on-line detection system for partial discharge signal of power equipments[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 190-194.

[4] 翟瑞聪, 王红斌, 谢善益, 等. 电力设备状态检修系统研究与应用[J]. 广东电力, 2013, 26(5): 96-100.
ZHAI Ruicong, WANG Hongbin, XIE Shanyi, et al. Study on electric power equipment condition-based maintenance

- system and its application[J]. Guangdong Electric Power, 2013, 26(5): 96-100.
- [5] 任雁铭, 秦立军, 杨奇逊. IEC 61850 通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 62-64.
REN Yanming, QIN Lijun, YANG Qixun. Study on IEC 61850 communication protocol architecture[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(8): 62-64.
- [6] 徐娟萍, 穆国强, 王庆平, 等. IEC61850 标准一致性仿真测试系统[J]. 电网技术, 2007, 31(18): 83-86.
XU Juanping, MU Guoqiang, WANG Qingping, et al. Research on conformance simulation testing system based on IEC 61850[J]. Power System Technology, 2007, 31(18): 83-86.
- [7] 翟瑞聪, 谢善益, 范颖, 等. 在线监测装置 IEC 61850 一致性测试技术的研究和应用[J]. 电器与能效管理技术, 2015(12): 27-31.
ZHAI Ruicong, XIE Shanyi, FAN Ying, et al. Research and application of online monitoring device IEC 61850 conformance testing technology[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2015(12): 27-31.
- [8] 翟瑞聪, 高雅, 杜双育. 基于 IEC 61850 的变压器在线监测数据建模及系统集成[J]. 广东电力, 2015, 28(1): 62-66.
ZHAI Ruicong, GAO Ya, DU Shuangyu. Transformer online monitoring data modeling and system integration based on IEC61850[J]. Guangdong Electric Power, 2015, 28(1): 62-66.
- [9] 唐喜, 任雁铭, 孟岩. 基于 IEC 61850 的数字化变电站服务器端模拟系统及实现[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(21): 46-49.
TANG Xi, REN Yanming, MENG Yan. Digital substation server simulation system based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(21): 46-49.
- [10] 韩明峰, 郑永志, 唐永建, 等. IEC 61850 的日志服务策略[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(18): 54-56.
HAN Mingfeng, ZHENG Yongzhi, TANG Yongjian, et al. Realization strategy of IEC 61850 log services[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(18): 54-56.
- [11] 梅德东, 樊瑞, 周斌. IEC61850 模型信息的规则表达与校验研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(3): 131-136.
MEI Dedong, FAN Rui, ZHOU Bin. Research on regular expressions and check of IEC 61850 model information[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(3): 131-136.
- [12] 王珍珍, 孙丹. IEC 61850 配置文件测试的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 95-98, 123.
WANG Zhenzhen, SUN Dan. Research on testing of IEC 61850 configuration files[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 95-98, 123.

收稿日期: 2015-06-23; 修回日期: 2015-08-14

作者简介:

翟瑞聪(1986-), 男, 硕士, 工程师, 从事电网自动化、在线监测研究及开发工作。E-mail: zhairuicong@163.com

(编辑 姜新丽)