

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.191072

基于统一信息模型的时间同步在线监测技术

郑明忠¹, 彭志强¹, 卜强生¹, 张琦兵², 周琦¹

(1. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103;

2. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210024)

摘要: 时间同步系统是电力系统的基础设施, 是电力系统运行控制和故障分析的重要基础条件。目前, 现场运行时间同步系统中, 部分厂站不具备时间同步在线监测功能, 部分厂站时间同步在线监测功能仅在站内实现, 无法进行全网统一时间在线监测。为面向全网主子站时间同步监测需求, 提出了主子站间及站内时间同步监测整体解决方案。设计了时间同步监控主子站间及变电站内系统架构, 分析了涉及的关键技术, 包括统一信息建模、时间同步监测系统应用功能及测试技术。目前, 基于统一信息模型的时间同步在线监测系统已经在江苏电网稳定运行。
关键词: 时间同步在线监测; 网络拓扑自动生成; 测试系统及方法

Time synchronization online monitoring technology based on a unified information mode

ZHENG Mingzhong¹, PENG Zhiqiang¹, BU Qiangsheng¹, ZHANG Qibing², ZHOU Qi¹

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024, China)

Abstract: The substation time synchronization system is the infrastructure of a power system. It is an important basic condition for power system operation control and fault analysis. At present, in the time synchronization system running in the field, some of the slave stations do not have the time synchronization online monitoring function, and some of the time synchronization online monitoring is only implemented in the slave station, and so online monitoring of the entire network cannot be performed. In order to orient time synchronization monitoring of the whole network, an overall solution for time synchronization monitoring between the main station and the substation is proposed. The system architecture of time synchronization monitoring between the main substation and the substation is designed, and the key technologies involved are analyzed, including unified information modeling, time synchronization monitoring system application functions and testing techniques. At present, the time synchronization online monitoring system based on the unified information model has been running stably in the Jiangsu Power Grid.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61602251) and Science and Technology Project of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. (No. J2019038).

Key words: time synchronization online monitoring; automatic network topology generation; test system and method

0 引言

电力系统时间同步^[1-3]是各类监控系统进行数据采集、故障处理、网络监管、信息管理及事故追忆和分析的基础, 是系统安全运行的重要组成部分。任何参与时间同步的节点如果发生时间偏差问题, 都可能影响系统的稳定运行。为了保证用户能实时

掌握系统中的时间运行状态以及系统中相关参与时间同步的计算机、服务器、智能设备及相关其他系统的时间同步状态, 建立一套完整的时间同步监测系统是非常必要的^[4-8]。

目前, 时间同步在线监测实现方案主要包括: 常规变电站监测方案中的二次设备定时模拟事件方案及开关量遥信方案, 智能变电站监测方案^[9-10], 其未给出主子站通信接入方式。文献[11]给出了不同时间监测技术路线, 包括: 卫星溯源监测技术、卫星共视监测技术、PTP 时间同步网监测技术、PTP

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(61602251); 国网江苏省电力有限公司科技项目资助(J2019038)

报文通信监测技术、专线监测技术以及网络监测技术，同时介绍了监测系统平台架构，但未提及标准化交互方式，同时给出的技术路线只有网络监测技术适用于目前的电力系统。电力系统时间同步及监测技术规范^[12-13]给出了时间同步监测技术要求及建模要求。文献^[14-16]仅给出了时间同步监测架构图，未给出实现方案。

同时现有的时间同步在线监测系统存在诸多问题：如无告警信息上传，不支持 MMS 通信，省地调互相独立等。此外，目前时间同步监测系统未充分考虑智能变电站二次设备技术特点，提出基于统一信息模型的时间同步在线监测技术方案，适应于当前智能变电站技术发展。泛在电力物联网在数据感知层提出了接入更多信息的要求，变电站从数据感知层需接入经纬度、海拔信息，时间同步装置具备这些信息，但均未送出服务于调度主站应用。基于统一信息建模，补充了经纬度、海拔信息基础信息。

为指导时间同步监测统一建设，标准化交互，现场快速调试实施，提出了一种基于统一信息模型的时间同步在线监测整体解决方案，包括主子站架构，统一信息建模。研制了基于 D5000 的江苏电网时间同步管控平台，实现主站时间同步在线监测高级应用功能。提出了一种时间同步在线监测测试系统及方法，用于指导时间同步监测入网测试，实现时间同步在线监测装置的统一接入。

1 时间同步在线监测系统架构

1.1 主子站架构

主子站系统架构设计原则同现在调度自动化系统架构保持一致，以分布式采集集中监视为原则^[17-19]，设计省地一体的时间同步监测系统，其中各地调部署采集服务器与工作站，省调部署采集服务器及应用服务器。具体如下：

- 1) 省调直采 500 kV 及以上变电站、统调电厂、地区调度的时间同步装置信息。
- 2) 地调直采 220 kV 及以下变电站、非统调电厂的时间同步装置信息。
- 3) 地调采集信息实时同步至省调，省调可查看全网时间同步监测信息。
- 4) 时间同步管控平台通过 NTP 计算时钟偏差，通过 MMS 采集时钟本体信息及监测信息。
- 5) 时间同步管控平台通过服务接口获取 D5000 数据库信息。基于智能电网调度控制系统平台，可实现基础信息共享，时间同步管控平台可自动同步变电站基础信息，同时可服务于调控业务，如 SOE

时间不准，进行自动补偿等。

时间同步监测系统主站架构和厂站端架构分别如图 1 和图 2 所示。

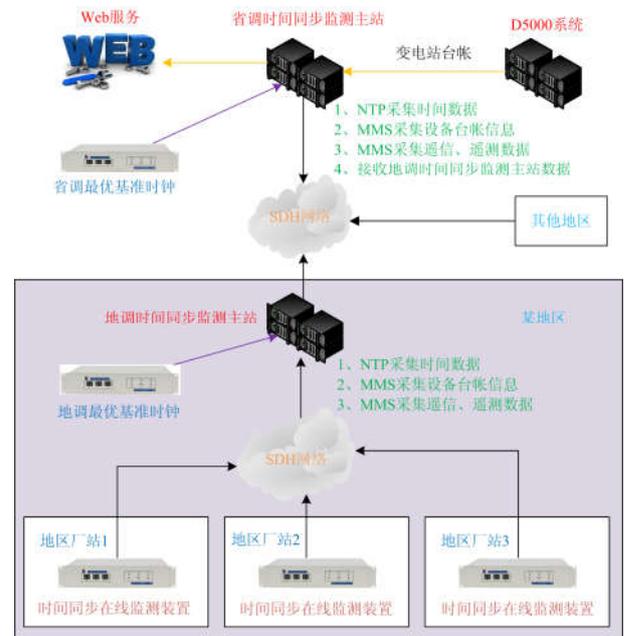


图 1 时间同步监测系统主站架构

Fig. 1 Master station architecture of time synchronization monitoring system

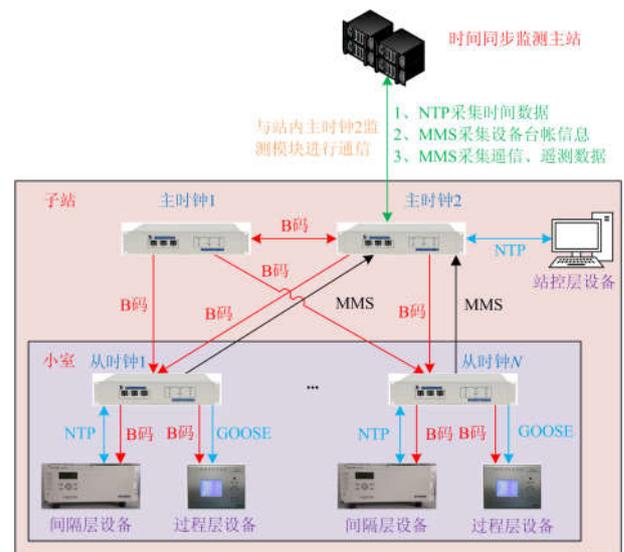


图 2 时间同步监测系统厂站端架构

Fig. 2 Plant station architecture of time synchronization monitoring system

在站端，基于现有时间同步系统双主钟配置，从时钟分小室配置的架构进行设计，具体设计如下。

- 1) 主时钟 2 实现全站信息数据的整合，采集厂站所有设备信息，对外与时间同步管控平台进行通信。

2) 监测模块与主站通信采用 NTP 协议和 MMS 协议:

- (1) NTP 协议采集主时钟 2 的时差数据。
- (2) MMS 协议采集所有设备的告警数据以及其他所有设备的时差数据。
- 3) 主时钟 2 对全站从时钟进行时间同步监测。
- 4) 从时钟对所处小室进行时间同步监测, 站控层及间隔层设备通过 NTP 监测, 过程层设备通过 GOOSE 进行监测, 监测轮询周期可设。
- 5) 主从时钟信息交互通过标准 IEC 61850 通信。

1.2 主站侧需求分析

主站具体实现以下功能:

- 1) D5000 模型同步, 实现变电站数据从 D5000 系统中自动同步至时间同步监测平台。
- 2) 61850 模型在线校验, 校验数据模型与标准一致性。
- 3) NTP/MMS 通道监视, 实现对各厂站各地调 NTP/MMS 通道监视。

4) 在线拓扑自动生成, 根据初始化模型数据自动生成时钟数据信息画面、变电站时钟对时拓扑图画面等, 所有画面自动生成, 无需用户画绘。

5) 变电站地理信息自动生成, 根据时钟上送地理信息自动生成站内地理拓扑。

6) 最优时钟源选择, 根据多源时钟均值在主站侧选择最优基准时间源。

7) 时钟台帐在线管理: 将时钟设备的台帐信息进行统一建模, 主站采集变电站时钟设备的台帐信息, 进行在线统一管理。

8) 实现时钟性能评价: 根据时钟通信状况、时间偏差等历史信息对接入时钟进行在线性能评价。

2 统一信息建模

2.1 信息建模

时间同步监测信息交互采用 IEC 61850, 用以规范主子站之间, 主从钟之间的交互方式。为实现时间同步在线监测系统相关平台设备之间互操作, 需规范统一信息建模^[20-27]。

时间同步监测信息模型如图 3 所示, 具体信息内容如下:

- 1) 从时钟至主时钟数据: 从时钟本体台帐信息, 自检信息, 被监测设备台帐信息, 被监测设备通信状态信息, 时间偏差及越限告警信息。
- 2) 主时钟至时间同步管控平台数据: 全站所有设备的台帐等信息、北斗/GPS 信号状态信息以及经纬度信息。
- 3) 钟差逻辑节点支持至少 $32 \times n$ 逻辑节点数量

建模。

4) 从时钟通过 GOOSE 获得过程层设备时间偏差。

5) 钟差逻辑节点进行增加二次设备信息 EName, 扩展 DPL 命名为 $\times \times$ DPL_TMU, 上送被监测设备台帐及网络接入方式信息, 为主站拓扑自动生成提供模型基础。

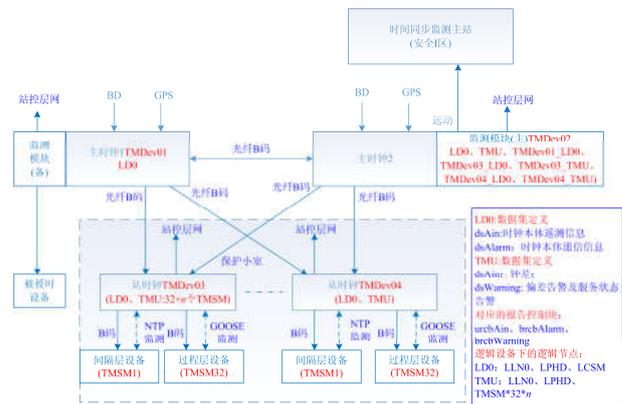


图 3 厂站拓扑模型结构

Fig. 3 Plant station topology model structure

分析时间同步在线监测信息流, 遵循 IEC 61850 信息建模原则, 具备建模要求如下:

1) 服务器建模: 服务器描述了一个设备外部可见的行为, 每个服务器至少应有一个访问点 (Access Point)。主时钟仅有 MMS 服务访问点, 具备过程层监测的从时钟可包含 GOOSE 服务访问点。

2) LD 建模, 遵循国网企标 Q/GDW1396, 根据时间同步在线监测交互内容, 按照以下类型进行 LD 划分:

- (A) 公用 LD, inst 名为 “LD0”;
- (B) 测量 LD, inst 名为 “TMU”;
- (C) GOOSE 访问点 LD, inst 名为 “PIGO”。

3) LN 建模: 需要通信的每个最小功能单元建模为一个 LN 对象, 属于同一功能对象的数据和数据属性应放在同一个 LN 对象中。

4) 数据集: 遵循国网企标 Q/GDW1396, 根据时间同步监测信息交换内容, 按以下类型进行数据集划分:

- dsAin: 时钟本体遥测信息及钟差
- dsAlarm: 时钟本体遥信信息
- dsWarning: 偏差告警及服务状态告警

5) 报告控制块: 时间同步监测装置预设下列报告控制块:

- urcbAin: 遥测
- brcbAlarm: 故障信号

brcbWarning: 告警信号

2.2 在线拓扑自动生成

在线拓扑自动生成功能通过直接获取 IEC 61850 模型信息,可直接生成网络拓扑,具体方法如下。

第一步:通过主时钟逻辑设备辨识出主时钟的数量,通过从时钟逻辑设备辨识出从时钟的数量。

第二步:通过主时钟和从时钟的逻辑节点 LN 辨识出与各时钟相连的被授时设备的数量。

第三步:通过从时钟自检信息逻辑节点辨识出被授时设备是否处于监测状态,如果被授时设备处于监测状态,此时可以进行自动网络拓扑。

从时钟自检信息逻辑节点 LCSM 中新增 2 个数据对象,分别为:对时监测工作状态 DevSelfAlarm,数据属性类型为单点,如果对时监测模块运行正常,DevSelfAlarm 置 0;所有被监测装置时间偏差状态总告警 WholeAlarm,数据属性类型为单点,如果所有被监测装置对时偏差值都没有超过设定门限值,WholeAlarm 置 0,说明被监测装置时间不存在异常。如果两个数据对象均置 0,则可以正确地自动生成拓扑连接图。

第四步:通过从时钟对被授时设备的监测信息逻辑节点 TMSM 辨识出被授时设备。

从时钟对被授时设备的监测信息逻辑节点 TMSM 中包括 3 个数据对象,分别为:是否实例化标志 devNetType,数据属性类型为单点;被监测装置名称 IEDName,数据属性类型为可见字符串;被监测装置中文描述 IEDDesc,数据属性类型为 255 位长字符串统一编码。若 devNetType 值为 0 则代表无网络接入,则不生成相关拓扑。

第五步:通过所建模型的分层结构确定授时设备与被授时设备的连接关系。

3 时间同步监测测试系统及方法

目前,主子站设备厂商对时间同步监测系统建模、信息交互、传输机制等还未统一,导致电力系统时间不能真正实现时间同步在线监测,相应的数据分析处理也无法保证可靠,亟需通过技术手段协助开展实验室测试,协助进行现场故障排查分析,保证现场设备入网可靠验收并提升现场验收效率。本部分介绍了时间同步监测测试系统及实验室与现场测试方法。

3.1 时间同步监测测试系统

时间同步监测测试系统包括组态自动配置模块、模型校验模块、IEC 61850 客户端模拟模块、IEC 61850 服务端模拟模块、动态运行校验模块、

被监测单元仿真模块,自动成图模块,动态运行告警模块,报文监听模块,背景流量发生器。

测试系统为一体化便携式装置,不同测试模块可用于实验室以及现场验收测试。

1) 组态自动配置模块。

组态自动配置工具模块能够提取 SCD 中间层及过程层二次设备信息,包括 IED 名,IP 地址、APPID、MAC 地址或网络接入方式等,能够手动编辑添加二次设备信息,支持作为模拟二次设备与时钟装置进行虚端子连接功能。当进行模拟 IEC 61850 客户端/服务端配置时,可以通过配置工具生成相应 CID 模型。

2) 模型校验模块。

离线模型校验通过导入主时钟 CID 配置文件进行模型校验,在线模型校验通过在线读取时钟模型进行模型校验;模型校验模块校验模型基本语法、语义是否满足 DL/T860 要求。模型校验模块支持模型规则编辑功能,通过编辑模型规则实现对 CID 文件中的模型结构、数据类型模板、数据集以及报告控制块的校验。

模型静态校验模块支持模型规则编辑,并根据模型规则进行校核,支持逻辑设备/逻辑节点/数据集/报告控制块/数据对象/数据属性等名称及类型校验,支持根据模型层次校验逻辑节点数量。依据广度优先搜索算法进行树形遍历,具体过程如图 4 所示。

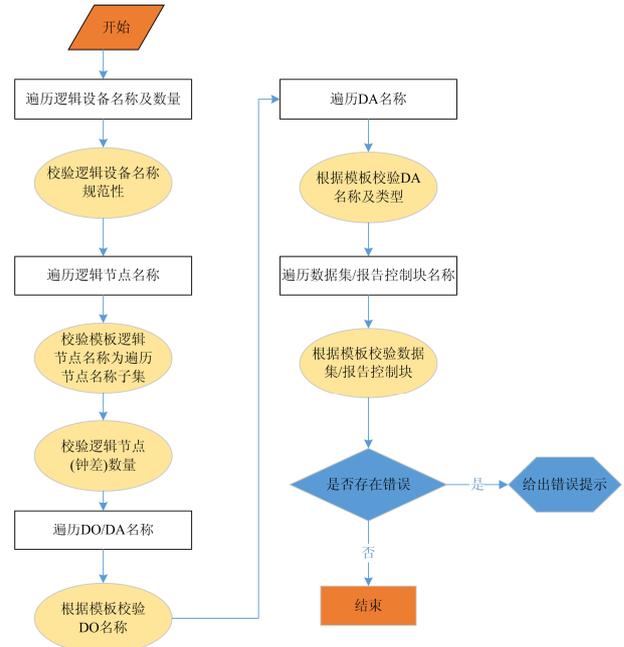


图 4 模型校验流程

Fig. 4 Model verification process

3) IEC 61850 客户端模块模拟时间同步在线监测主站系统,进行主子站间互操作测试。

IEC 61850 客户端模块模拟时间同步监测主站及主时钟。当模拟时间同步监测主站时进行主子站间互操作测试, 进行服务响应测试、MMS 通信初始化测试, 同时进行在子站侧触发数据, 在 IEC 61850 客户端模块查看相应的值是否正确, 包括二次设备监测信息、时钟本体信息, IEC 61850 客户端模块具备图形界面, 能够直观检查信息变位正确性。当模拟主时钟时, 进行主从时钟互操作测试, IEC 61850 客户端模块能够通过导入 CID 模型文件进行配置, 也可以通过组态自动配置模块进行配置。

组态配置模块能够自动提取已配置好的 CID 文件模型中的二次设备信息, 也能够在线读取 CID 文件模型。

4) IEC 61850 服务端模块模拟从时钟, 作为服务端与被测主时钟进行互操作测试, 测试主从时钟通信初始化。IEC 61850 服务端模块能够通过导入 CID 模型文件进行配置, 也可以通过组态自动配置模块进行配置。

5) 被监测仿真模块模拟被监测站控层/间隔层设备被监测行为。

被监测单元仿真模块能够作为被监测单元模拟被监测二次设备时间行为, 能够返回 NTP 以及 GOOSE 两种时间信息, 其中 NTP 报文中带有 TSSM 字段用于区分普通对时报文。被监测单元仿真模块支持设定时间偏差, 时间偏差可随机设定, 结合 IEC 61850 客户端模块(模拟时间同步监测主站)实现闭环时间偏差校验。当模拟多台二次设备时支持模拟被轮询监测。

6) 自动成图模块根据主从时钟逻辑设备名称以及从时钟下逻辑节点实例化标志自动生成监测拓扑结构, 用于现场校验配置正确性。

7) 报文监听模块监听 MMS、GOOSE 以及 NTP 报文, 并对报文信息进行翻译解析, 协助测试人员进行现场故障分析。

8) 动态运行告警模块进行拷机测试。

动态运行告警模块具备对主时钟 MMS 通信中断、对时偏差超差统计及告警、对时测量中断、对时监测工作状态、电源模块状态、卫星模块状态以及其他遥信遥测品质位进行拷机统计监视。拷机测试时间大于 24 h。

9) 背景流量发生器采用 Smartbit, 通过增加背景流量验证时间同步装置监测精度抗干扰能力。

3.2 实验室测试

1) 搭建测试环境

根据时间同步监测测试系统搭建时间同步监测测试环境, 包括: 时间同步监测测试系统、接入时间同步监测系统的设备及试验设备; 其中, 时间同步监测测试系统为一体化设计便携式设备。测试环境如图 6 所示。

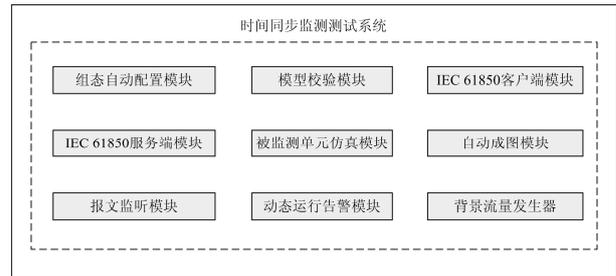


图 5 时间同步监测测试系统

Fig. 5 Time synchronization monitoring test system

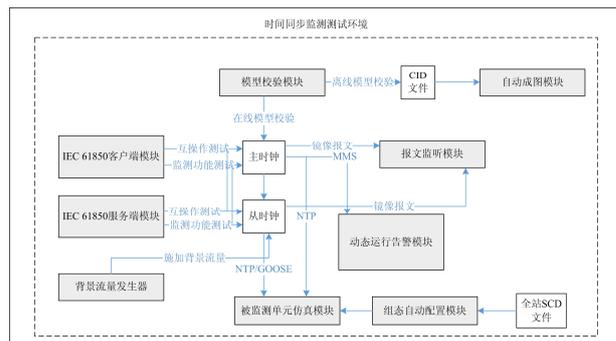


图 6 时间同步监测测试环境

Fig. 6 Time synchronization monitoring test environment

2) 测试步骤

时间同步监测测试系统的实验室测试方法, 包括表 1 所示步骤。

3.3 现场测试

现场将应用时间同步监测测试系统进行调试验收, 检验配置正确性, 提高现场验收效率。

具体步骤如下:

1) 应用组态配置模块导入已配置 CID 文件模型中的二次设备信息, 也可以通过在线读取的方式获得, 将二次设备信息反馈给自动成图模块。

2) 自动成图模块自动生成全站监测拓扑图, 包括拓扑连接关系, 被监测二次设备描述等。实现配置结果可视化。

4 结论

目前, 电力系统已基本接入时间同步装置, 二次设备也经过时间同步装置进行对时。但是, 对时效果如何不得而知, 通过时间同步在线监测系统可以实现对全网被授时装置对时效果的在线监测。

表 1 测试步骤

Table1 Test procedure

序号	测试项目	测试步骤	测试结论
1	模型校核	通过模型校验模块检查主、从时钟 CID 文件符合建模要求。	逻辑设备名不规范
2	主/从时钟监测功能	通过被监测仿真模块模拟被监测设备验证主时钟对从时钟和站控层设备的监测功能；验证从时钟对二次设备监测功能。	测量偏差与设定偏差不一致
3	互操作测试	通过 IEC61850 客户端/服务端模拟时间管控平台、主时钟、从时钟，验证主时钟、从时钟、时间同步管控平台能够通过 IEC61850 进行互操作通信。	通过
4	主、从时钟本体信息检查	通过被监测仿真模块模拟被监测设备验证主时钟对从时钟和站控层设备的监测功能；验证从时钟对二次设备监测功能。	1.时钟源选择为北斗；上送值为 GPS，修改后通过。 2.接收卫星模数为零，修改后通过。
5	动态运行	通过被监测仿真模块模拟被监测设备，结合动态运行告警模块验证主、从时钟拷机 24 h 以上稳定运行的能力，同时结合报文监听模块进行事后分析。	通过

本文提出了一种基于统一信息模型的时间同步在线监测系统架构，给出了一种具体的时间同步在线监测实施方案，目前正在江苏电网省调以及各地调部署时间同步监测管控平台。同时，根据本文提供的测试方案开展时间同步在线监测测试，目前入网时间同步在线监测设备均可靠稳定运行。

参考文献

- [1] 李建城. 对目前变电站全站时间同步系统分析[J]. 智慧城市, 2017, 3(2): 252-253.
LI Jiancheng. Analysis of current station time synchronization system in substation[J]. Intelligent City, 2017, 3(2): 252-253.
- [2] 罗红, 王国玉. 智能变电站时间同步系统[J]. 电子技术与软件工程, 2017(9): 132-133.
LUO Hong, WANG Guoyu. Intelligent substation time synchronization system[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2017(9): 132-133.
- [3] 胥婕, 徐亮, 董莲, 等. 基于 NTP 协议的网络时间同步系统的设计与实现[J]. 上海计量测试, 2017, 44(4): 10-13.
XU Jie, XU Liang, DONG Lian, et al. Design and implementation of network time synchronization system based on NTP[J]. Shanghai Measurement and Testing, 2017, 44(4): 10-13.
- [4] 尹亮, 马军, 张宏杰, 等. 基于调度数据网的变电站时间监测技术研究[J]. 宁夏电力, 2017(3): 55-59.
YIN Liang, MA Jun, ZHANG Hongjie, et al. Research of substation time monitoring technology based on dispatching data network[J]. Ningxia Electric Power, 2017(3): 55-59.
- [5] 张道农, 于跃海. 电力系统时间同步技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- [6] 雷霆, 黄太贵, 李斌, 等. 时间同步监测分析系统的开发与应用[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(24): 65-68, 93.
LEI Ting, HUANG Taigui, LI Bin, et al. Development and application of a time synchronization monitoring and analysis system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(24): 65-68, 93.
- [7] 孙天甲, 邱祖雄, 方国盛. 变电站时间同步及监测技术研究与应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(8): 111-114, 117.
SUN Tianjia, QIU Zuxiong, FANG Guosheng. The technical research and application of time synchronism and monitoring in substation[J]. Automation & Instrumentation, 2017(8): 111-114, 117.
- [8] 陈志刚, 彭学军, 张道农. 智能变电站时间同步在线监测研究[J]. 电气技术, 2016(5): 96-99, 104.
CHEN Zhigang, PENG Xuejun, ZHANG Daonong. Online monitoring of time synchronization in smart substation[J]. Electrical Engineering, 2016(5): 96-99, 104.
- [9] 李澄, 陈颢, 宁艳. 二次设备时间同步状态在线监测系统研究[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(1): 9-11.
LI Cheng, CHEN Hao, NING Yan. Study on on-line monitoring system of time synchronous state of secondary equipment[J]. Electric Power Engineering Technology, 2012, 31(1): 9-11.
- [10] 彭志强, 霍雪松, 曾飞, 等. 电力系统时间同步状态在线监测技术应用分析[J]. 华东电力, 2014, 42(10): 2060-2064.
PENG Zhiqiang, HUO Xuesong, ZENG Fei, et al. Application analysis of time synchronization state on-line monitoring technology for power system[J]. East China Electric Power, 2014, 42(10): 2060-2064.
- [11] 贺琛, 杨鸿珍, 吕思达, 等. 智能电网中时间同步监测

- 技术路线研究[J]. 电力信息与通信技术, 2016, 14(6): 32-35.
- HE Chen, YANG Hongzhen, LÜ Sida, et al. Research technology route on time synchronization monitoring in smart grid[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2016, 14(6): 32-35.
- [12] 国家电网公司. 电力系统时间同步及监测技术规范: Q/GDW11539—2016[S]. 北京: 中国电力出版社, 2016.
- [13] 国家能源局. 电力自动化通信网络和系统: DL/T 860 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2016.
- [14] 童旭, 王珮璐, 孙雅平. 智能变电站时间同步系统在线监测技术的研究[J]. 华东电力, 2012, 40(12): 2184-2186.
- TONG Xu, WANG Peilu, SUN Yaping. Research on online monitoring technology of intelligent substation time synchronization system[J]. East China Electric Power, 2012, 40(12): 2184-2186.
- [15] 于跃海, 张道农, 胡永辉, 等. 电力系统时间同步方案[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(7): 82-86.
- YU Yuehai, ZHANG Daonong, HU Yonghui, et al. Time synchronizing system for power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(7): 82-86.
- [16] 李艳. 基于北斗导航系统的时钟同步监测系统研究与应用[D]. 天津: 天津大学, 2016.
- LI Yan. The study and application of clock synchronization monitoring system based on Beidou Navigation System[D]. Tianjin: Tianjin University, 2016.
- [17] 宋鑫, 赵家庆, 丁宏恩, 等. 智能电网调度控制系统的省地一体化架构设计[J]. 电力系统及其自动化学报, 2018, 30(12): 118-124.
- SONG Xin, ZHAO Jiaqing, DING Hong'en, et al. Design of province-prefecture integrated architecture for smart grid dispatching and control system[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2018, 30(12): 118-124.
- [18] 胡信超, 冯华平, 林国春, 等. 省地一体化下的自动化运维系统建设[J]. 信息技术与信息化, 2016(12): 39-41.
- HU Xinchao, FENG Huaping, LIN Guochun, et al. Automated operational system under the province and region integration[J]. Information Technology and Informatization, 2016(12): 39-41.
- [19] 张敬, 王丹, 马明明, 等. 智能调度系统省地一体化建设的实践[J]. 电工技术, 2015(7): 25-27.
- ZHANG Jing, WANG Dan, MA Mingming, et al. Practice of provincial integration construction of intelligent dispatching system[J]. Electric Engineering, 2015(7): 25-27.
- [20] IEC61850 工程继电保护应用模型: Q/GDW 1396[S]. 2012.
- Data model of protection relay in project based on IEC61850: Q/GDW 1396[S]. 2012.
- [21] 变电站通信网络和系统: DL/T 860[S]. 2006.
- Communication networks and system in substations: DL/T 860[S]. 2006.
- [22] 许国澎, 彭彦卿, 马祖富. 基于 IEC 61850 标准的 IED 信息模型设计[J]. 机电信息, 2018(24): 105-107.
- XU Guopeng, PENG Yanqing, MA Zufu. Design of IED information model based on IEC 61850 standard[J]. Mechanical and Electrical Information, 2018(24): 105-107.
- [23] 张锦, 寇新民, 马东岭. IEC61850 在在线监测装置建模中的应用[J]. 科技创新与应用, 2015(29): 205.
- ZHANG Jin, KOU Xinmin, MA Dongling. Application of IEC61850 in modeling of online monitoring devices[J]. Technology Innovation and Application, 2015(29): 205.
- [24] 董贝, 薛钟, 张尧, 等. 基于 IEC61850 逻辑设备管理层次结构的就地化保护装置建模研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(14): 165-170.
- DONG Bei, XUE Zhong, ZHANG Yao, et al. Research and application of modeling for on-site installation protection based on IEC61850 logical devices management hierarchy[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(14): 165-170.
- [25] 彭志强, 张琦兵. 电网调度自动化系统信息品质分析新方法及其应用[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(4): 150-157.
- PENG Zhiqiang, ZHANG Qibing. A new method of information quality analysis of power grid dispatching automation system and its application[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(4): 150-157.
- [26] 高志远, 黄海峰, 徐昊亮, 等. IEC 61850 应用剖析及其发展探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(1): 162-169.
- GAO Zhiyuan, HUANG Haifeng, XU Haoliang, et al. Discussion on applications of IEC 61850 and its development[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(1): 162-169.
- [27] APOSTOLOV A. Efficient maintenance testing in digital substations based on IEC 61850 edition 2[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 407-420. DOI: 10.1186/s41601-017-0054-0.

收稿日期: 2019-09-03; 修回日期: 2019-11-06

作者简介:

郑明忠(1989—), 男, 硕士, 从事调度自动化及智能变电站技术方面的研究工作。E-mail: mingzhongz@tju.edu.cn

(编辑 周金梅)