

# Research on the Optimization Measures of Intelligent Substation Network Clock Synchronization Applications

Yutian Lei<sup>1</sup>, Yinguo He<sup>2</sup>, Zhiqiang Xu<sup>2\*</sup>, Jian Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hunan Electric Power Corporation State Grid, Changsha Hunan

<sup>2</sup>Institute of Economic Technology, Hunan Electric Power Corporation State Grid, Changsha Hunan  
Email: \*xu8282836@163.com

Received: Apr. 12<sup>th</sup>, 2017; accepted: Apr. 27<sup>th</sup>, 2017; published: Apr. 30<sup>th</sup>, 2017

## Abstract

This paper carries out research on the optimization measures of intelligent substation network clock synchronization applications, aiming at the problem that intelligent substation synchronization precision affects the quality of business services business. First of all, the current network clock synchronization technologies are analyzed and compared. Then, the synchronous optimization measures are introduced through the typical examples in terms of redundant network, independent topology and layered synchronization, considering the intelligent substation actual requirements for precision clock synchronization and synchronization requirements of substation practical business applications. Thereby, the purpose of optimizing intelligent substation network clock synchronization applications is realized.

## Keywords

Intelligent Substation, Clock Synchronization, Optimization Measures

# 智能变电站网络时钟同步应用优化措施研究

雷雨田<sup>1</sup>, 何银国<sup>2</sup>, 徐志强<sup>2\*</sup>, 陈 剑<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国网湖南省电力公司, 湖南 长沙

<sup>2</sup>国网湖南省电力公司, 经济技术研究院, 湖南 长沙  
Email: \*xu8282836@163.com

收稿日期: 2017年4月12日; 录用日期: 2017年4月27日; 发布日期: 2017年4月30日

\*通讯作者。

文章引用: 雷雨田, 何银国, 徐志强, 陈剑. 智能变电站网络时钟同步应用优化措施研究[J]. 无线通信, 2017, 7(2): 97-102. <https://doi.org/10.12677/hjwc.2017.72012>

## 摘要

针对智能变电站业务同步精度影响业务服务质量问题, 本文开展智能变电站网络时钟同步应用优化措施研究。首先对当前网络时钟同步技术进行分析比较; 结合智能变电站对时钟同步精度的实际要求以及变电站业务实际业务应用的同步需求, 从冗余组网、独立网络拓扑和分层对时等方面, 通过典型实例阐述同步优化措施, 从而实现智能变电站网络时钟同步应用优化的目的。

## 关键词

智能变电站, 时钟同步, 优化措施

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

时钟同步系统是智能变电站的重要组成部分, 是实现智能变电站设备测量、控制和保护的重要技术支撑[1] [2]; 其中时钟同步精度是影响智能变电站的控制精度和性能的主要因素[3]。

按照 IEC61850 标准, 智能变电站设备的时钟精度要求从 T1 到 T5 划分为 5 级[1]。为保证时间同步精度, 变电站同步机制采用简单网络时间协议(SNTP)和 IEEE1588 协议实现(以下简称 1588 协议)。SNTP 协议对时精度为 ms 级, 能够保证数字化变电站中间隔层设备的对时精度需求[3]; 但不能满足智能变电站 IEC61850 标准 T5 级计量设备时钟精度 1 $\mu$ s 要求[4]。与之 SNTP 相比, 1588 协议时钟精度可达到亚微秒级, 能够满足智能变电站 T1 到 T5 级时间精度要求[5] [6] [7]。在智能变电站中, 1588 协议可以在站控层网络和过程层网络中直接运行, 因此不需要专门对时网络而具有简化系统结构的优点[8] [9] [10] [11]。

典型变电站同步结构如图 1 所示: 电力时间同步系统常用的结构为主时钟设备接收卫星(北斗 BD 和 GPS)无线时间基准信号, 分散部署的从时钟跟踪主时钟为具体的保护和自动化装置授时。电力现使用的同步技术有卫星同步技术、NTP/SNTP 网络同步技术和 1588 协议网络同步技术, 其中卫星同步技术主要包括全球卫星定位系统以及我国自主研发的北斗卫星导航系统。而 1588 协议应用于智能变电站 IEC61850 框架下即为 IEC61588 协议[12]。

在 IEC61850 标准中, 将简单网络时间协议(SNTP)纳入目的是为数字化变电站提供基于以太网的高精度对时。但是, SNTP 的同步精度仅能达到毫秒级, 在一些要求同步精度较低的环境能够适用, 却无法满过程层微秒甚至亚微秒级的同步精度。为解决 SNTP 的以上不足, 2002 年, IEEE 标准委员会确立了 IEEE1588 精确时间协议(PTP)规范, 其基本构思是结合软、硬件, 将网络设备的时间同步于主控机, 提供同步建立时间小于 10 毫秒的运用, 显著地改善了整个网络的定时同步指标。在智能变电站中, 1588 可以在站控层网络和过程层网络中直接运行, 不需要专门的对时网络, 因此简化了整个系统的结构[10] [11]。即便如此, 在智能变电站建设实际工程实践中, 在变电站时间同步方面仍然存在诸多有待解决的问题, 具体表现如下: 1) 在可靠性方面更多考虑单台设备可靠性, 如电磁兼容、散热、电源冗余等, 对设备外部异常考虑较少, 造成系统处理外部时间源异常能力较弱, 系统可靠性存在较大隐患; 2) 不支持 IEC61850 标准或 IEEE1588 标准, 变电站监控系统无法直接获取时间同步系统的状态信息, 各厂商设备

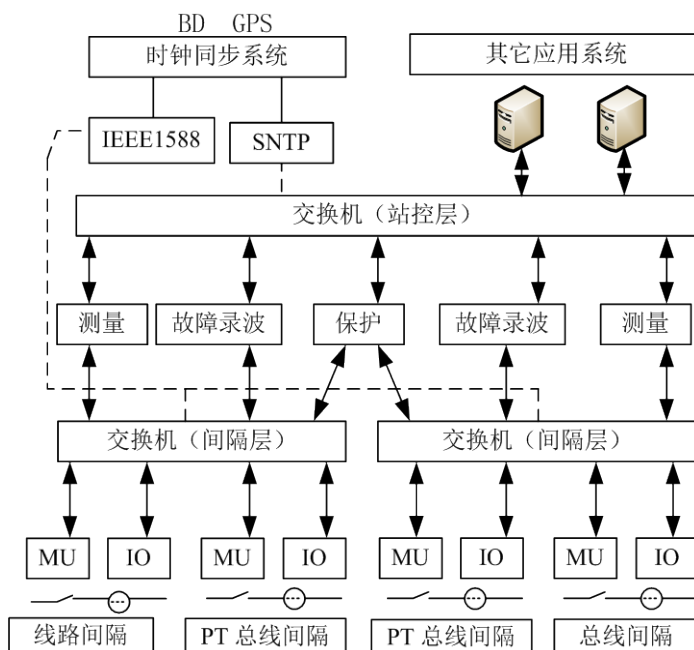


Figure 1. Intelligent substation typical synchronous structure  
图 1. 智能变电站典型同步结构图

均采用独立管理系统,不同设备商设备管理系统兼容性差等;3)即使采用 IEEE1588 协议(网络测控系统精确时钟同步协议)进行变电站同步控制,实现中缺乏对诸如网络时钟受传输延迟等因素的影响考虑,精度可能难以满足 PMU/WAMS 系统及智能电网自愈控制的要求。

本文开展了智能变电站网络时钟同步应用优化措施研究,结合智能变电站对时钟同步精度的实际要求以及变电站业务实际业务应用的同步需求,从冗余组网、独立网络拓扑和分层对时等方面进行了智能变电站同步应用方案优化措施的设计,旨在实现智能变电站网络时钟同步应用优化的目的。

## 2. 智能变电站业务同步需求分析

智能变电站的频率同步网由时钟节点设备和同步时钟链路组成。其中时钟节点设备按时钟精度性能指标划分一级时钟、二级时钟和三级时钟,同步时钟链路由 SDH 传输网的网元和链路组成[13]。变电站自动化设备包含计量设备、控制设备和保护设备等,每类设备的同步精度要求不同。其中计量设备、雷电定位设备、同步向量测量设备与故障定位设备的时间同步精度为微秒级,而故障录波设备和时间顺序记录设备的时间同步精度为毫秒级。IEC61850 标准按照时间精度由高到低定义了 T1 到 T5 共五种时钟同步精度用于智能变电站[7] [8] [9],如表 1 所示。

因此有必要针对智能变电站业务可得同步要求,开展同步应用优化措施研究。下节将通过典型实例阐述同步优化措施,从而实现智能变电站网络时钟同步应用优化的目的。

## 3. 智能变电站同步应用方案优化措施

### 3.1. 冗余组网

智能变电站同步时钟优化措施之一是采用冗余组网设计保证系统运行可靠性。当主时钟或者站内通信网络发生故障时,冗余组网是确保智能变电站时钟同步的首要有效措施。冗余组网的优化原则是主源同步组网原则和逐级同步组网原则,主源同步组网原则是当主从时钟处于正常同步状态时(Boundary

**Table 1.** Clock synchronization precision grade table  
**表 1.** 时钟同步精度等级表

时间性能类	精度(us)	用途
T1	$\pm 1000$	控制和保护事件的时间标记
T2	$\pm 100$	
T3	$\pm 25$	配电线路保护
T4	$\pm 4$	计费计量和输电线路保护
T5	$\pm 1$	电能质量

Clock 不参与同步过程), 根时钟应作为全站唯一的主时钟进行同步, 各个对时终端作为从时钟统一同步于根时钟; 逐级同步组网原则是时钟对时主机服务器作为根时钟, 周期性的向时钟同步网络提供精确时钟, 第 1 级 Boundary Clock 则相当于时钟对时主机服务器的从时钟, 精确同步于根时钟。对于各个对时终端而言, 下一级 Boundary Clock 又作为主时钟, 这样通过逐级的时间同步, 最终站内各个对时终端同步于根时钟, 从而实现了时钟同步网的高精度授时。典型的变电站 1588 协议时间同步冗余组网设计实例如图 2 所示, 实例中包含一个根时钟, 一个冗余备用根时钟, 并且在站级监控中心里设有授时系统作为备用冗余网络时钟源, 同时监控全站各个时钟节点是否故障或者发生大范围通信网络堵塞。采用 1588 协议的点到点(P2P)时钟同步机制实现, 具有三个同步时钟源(主时钟、备用主时钟和备用网络时钟), 其中主时钟和备用主时钟提供来自北斗 BD 和 GPS 的高精度时间信号, 保证正常运行条件下的变电站设备全网精确的时钟同步; 在变电站监控中心配置的备用网络时钟源运行于热备份状态, 同时同步网络采用主备冗余网络配置模式, 若主同步网络出现故障时, 即可切换到备用同步网络, 实现设备 P2P 时钟同步网的正常授时。

### 3.2. 独立拓扑设计

智能变电站同步时钟优化的另一个优化措施是站控层网络与过程层网络相互独立采用不同网络拓扑结构实现同步精度保证, 减少变电站通信网络拓扑规模对 1588 协议的网络对时精度的影响。独立拓扑设计的优化原则是网络拓扑分两层、站控层网络采用双星型拓扑结构设计、过程层网络采用双环型拓扑结构。典型的变电站 1588 协议时间同步独立网络拓扑设计实例如图 3 所示, 实例中包含站控层网络结构和过程层网络结构, 其中过程层网络结构以交换机为中心与控制中心、监控主机和维护工作站相连, 站控层网络通过保护设备和测控设备与过程层网络相连; 过程层网络也是以交换机为中心连接有电子式互感器和智能开关设备。站控层网络采用具有网络延时小特性的双星形拓扑结构设计, 过程层网络采用具有高可靠特性的双环形拓扑结构, 保证了时间同步报文和设备过程控制报文(如 GOOSE 和 SV)可靠传输。

### 3.3. 分层对时设计

智能变电站同步时钟优化措施还可以通过分层网络对时设计实现。考虑到变电站中站控层的时间同步精度要求为 ms 级, 过程层和间隔层为 us 级, 因此时间同步网络可采用分层同步精度设计, 其中站控层采用 SNTP 协议实现时间同步, 过程层和间隔层采用 1588 协议实现时间同步。分层对时设计的优化原则是网络分三层进行设计、站控层采用 SNTP 对时、过程层采用 IEEE1588 对时, 典型的变电站分层网络对时设计实例如图 4 所示, 实例中包含站控层、间隔层和过程层, 站控层以交换机为中心, 连接监控系统和维护系统, 采用 SNTP 对时; 过程层通过边界时钟交换机与一次设备和智能组件相连, 采用 IEEE1588 对时; 间隔层是站控层和过程层之间的过渡层, 通过交换机与站控层和过程层相连。站内时钟同步网络

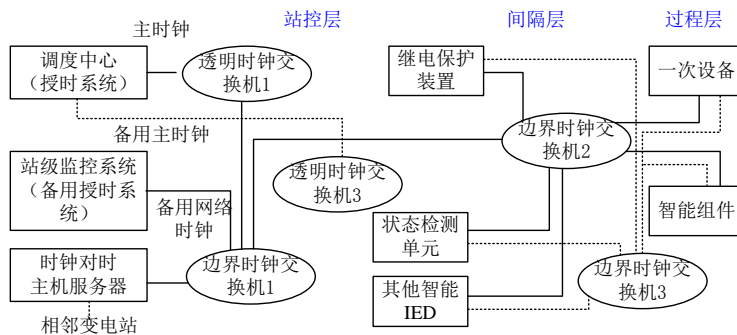


Figure 2. Intelligent substation time synchronous redundant network design example

图 2. 智能变电站同步冗余组网设计实例

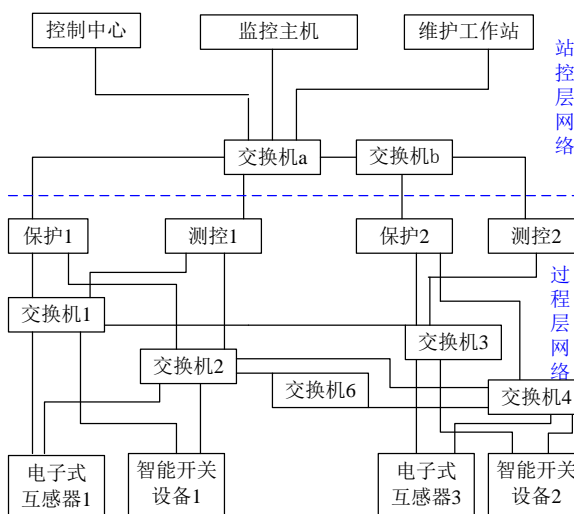


Figure 3. Intelligent substation time synchronization independent network topology design example

图 3. 智能变电站时间同步独立网拓扑设计实例

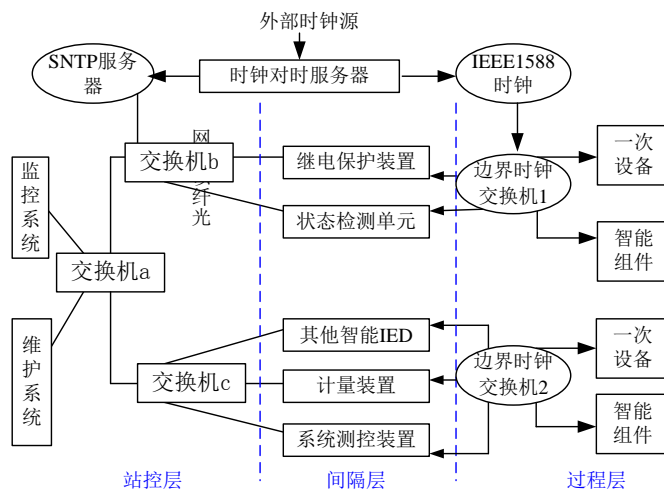


Figure 4. Intelligent substation time synchronization hierarchical network design example

图 4. 智能变电站时间同步分层网络对时设计实例

采用双备份时钟(SNTP 服务器和 1588 协议时钟互为备用)的分层对时网络结构, 站控层设备采用 SNTP 协议进行时间同步; 间隔层和过程层设备采用接入专门的 1588 协议时钟和支持边界时钟的交换机实现时间同步。

### 3.4. 其它

智能变电站同步时钟其它优化措施主要还包括网络交换机时钟模型优化、报文映射优化和网络通信模式优化, 具体如下:

1) 网络交换机时钟模型优化, 可将交换机同步时钟模型配置为边界时钟或透明时钟模式, 考虑到智能变电站过程层网络中, 存在二级到三级的交换机级联, 而级联时透明时钟模型明显比边界时钟模型的同步精度高且稳定性好, 因此可采用透明时钟模型实现同步优化。

2) 报文映射优化, 报文可映射为 UDP 和 IEEE802.3 (以太网第 2 层)两种形式。鉴于直接映射到以太网链路层可以减少报文传输延时和层次, 因此过程层网络中的三种报文(采样报文, GOOSE 报文和同步报文)均直接映射以太网链路层实现同步优化。

3) 网络通信模式优化, 考虑网络组播通信方式比单播通信方式便于实现和配置, 可将当前网络交换机单播机制扩展为组播通信机制实现同步优化。

## 4. 结论

本文在分析智能变电站时间同步需求的基础上, 分别从冗余组网、独立网络拓扑和分层对时等方面阐述智能变电站时间同步的优化措施及其典型实例, 为智能变电站时间同步方案建设提供应用分析借鉴。

## 基金项目

国家电网公司科技项目(SGHNJY00JHQT1500092)。

## 参考文献 (References)

- [1] 王康, 胡永辉, 马红皎. 基于 IEEE1588 的智能变电站时钟同步技术[J]. 电力科学与技术学报, 2011, 26(3): 9-14.
- [2] 曾祥君, 黎锐烽, 李泽文, 王阳. 基于 IEEE1588 的智能变电站时钟同步网络[J]. 电力科学与技术学报, 2011(3): 3-8.
- [3] 辛红汪, 丁巧林, 李筱宁, 等. IEC61850 在智能电网中实现方法的研究[J]. 电力信息与通信技术, 2013, 11(6): 22-26.
- [4] 刘娟. 基于 IEC 61850 的变电设备状态接入控制器[J]. 电力信息与通信技术, 2014(6): 58-63.
- [5] 冯霞. 基于 IEC61850 标准的 110 kV 变电站数字化二次设计[J]. 电力学报, 2011, 9(5): 72-75.
- [6] Huang, B., Zhao, X. and Liu, J. (2014) Smart Substation Precise Time Research and Analysis. *IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control, and Communication (ISPCS)*, 93-96.
- [7] 王毅, 邹亮, 张峰, 等. 智能电网同步时钟技术[J]. 电气开关, 2013, 51(5): 20-23.
- [8] 滕玲, 高强, 汪洋, 等. 电力频率同步网与时间同步网两网合一可行性研究[J]. 电网技术, 2015, 39(1): 294-298.
- [9] 张涛, 胡立生. IEEE 1588 标准下准确时间值的获取方法[J]. 化工自动化及仪表, 2014(10): 1181-1184.
- [10] 刘建成. 基于 IEEE 1588 协议的精确时钟同步算法改进[J]. 电子设计工程, 2015, 23(4): 105-107.
- [11] 陈威. IEEE 1588v2 时间同步技术在电力通信网中的应用[J]. 电力信息与通信技术, 2014, 12(7): 31-35.
- [12] 李晓珍, 苏建峰. 基于 IEEE1588 高精度网络时钟同步的研究[J]. 通信技术, 2011, 44(3): 105-107.
- [13] 李道圣, 周晓燕, 王玉东, 等. 电力通信系统频率同步网模型架构研究[J]. 信息通信, 2015(6): 26-28.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjwc@hanspub.org](mailto:hjwc@hanspub.org)