

# PTN 网络 1588 时间同步测试与电力应用分析

赵曼勇, 文安, 金鑫, 魏承志, 黄维芳

(中国南方电网有限责任公司, 广州 510620)

**摘要:** 针对电力各业务系统与装置对时间同步的要求, 研究利用 PTN 网络组建 1588 时间同步网具体方案, 并对 PTN 网络的时间同步性能进行测试, 测试结果完全能够满足电力各业务系统的时间同步精度要求。

**关键词:** PTN; 时间同步; 时延补偿

中图分类号: TM76

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)S1-0151-04

## Analysis of PTN Network 1588 Time Synchronization Test and Application in Electric Power

ZHAO Manyong, WEN An, JIN Xin, WEI Chengzhi, HUANG Weifang

(China Southern Power Grid. Co., Ltd., Guangzhou 510620, China)

**Abstract:** The power of the business systems and devices require time synchronization, study PTN network set up 1588 time synchronization network specific programs, and PTN network time synchronization performance testing, test results fully able to meet the operational time of the power system synchronization accuracy requirements.

**Key words:** PTN, time synchronization, delay compensation

IEEE1588 最初是因为工业控制领域需要精确时间控制而产生的, 由于其支持硬件打戳, 可以获得亚 us 级的高时间同步精度, 近年被 ITU-T 引入电信网络, 用于给 TD-SCDMA、CDMA2000、LTE TDD 等时分无线系统提供精确时间同步, 在电信网络中逐渐成熟和推广应用。本文首先分析了电力网络各种业务的时间同步要求, 然后介绍了 IEEE 1588V2 的原理和 PTN 网络 1588V2 时间同步功能的测试结果, 最后探讨了在电力通信网络通过 PTN 的 1588V2 功能实现地面时间同步的方案。

电力通信同步网建设可采用 PTP(以太传输或 OVER E1 传输)方式组网<sup>[1]</sup>, 电力通信同步网可利用 OTN + PTN 网络组建地面 1588 时间同步网络<sup>[2][3]</sup>, 但对于 PTN 网络时间同步地面组网的细节有待进一步研究。

### 1 电力数据时间同步要求

随着智能电网的不断发展, 自动化和智能化逐

渐成为国内电网的重要特征, 由于故障录波器、事件顺序纪录装置、运行自动化系统、系统 AGC 调频、微机继电保护、负荷管理、运行报表统计、跨大区电网联络线负荷控制、电网运行设备的操作以及电网发生事故时间等智能电网可靠稳定运行所需的业务都要求电网有一个统一的标准。为便于事后进行分析, 准确及时地掌握实时信息是分析各类事故发生依据。电力系统装置之间统一的时间基准是进行事故处理和分析的基础, 因此保证各装置的时间同步具有重要意义。

电力系统设备和系统中主要有线路行波故障测距装置、同步相量测量装置、广域控制保护装置、雷电定位系统等设备对时间同步准确有较高要求, 各类电力系统装置的时间同步要求见表 1。

### 2 PTN 网络 1588 时间同步功能与测试

为解决时间同步问题, 应用比较广泛的是简单网络时间协议和网络时间协议, 该协议的时间同步精度已经达到毫秒级, 但仍然不能满足测量仪器和工业控制所需要的精度。为了同步精度的进一步提升, 2002 年 IEEE 标准委员会推出了 PTP 精确时间协议 IEEE 1588 时钟协议, 随着该协议的不完

收稿日期: 2015-06-01

作者简介: 赵曼勇(1957), 女, 安徽寿县人, 教授级高工, 硕士, 主要从事电力系统保护与控制方面的研究工作(zhaomy@csg.cn)

善,目前通过该协议,时钟同步精度已达到纳秒级。

表1 电力系统装置时间同步准确度需求

Table 1 The Time Synchronization Accuracy Requirement of Electrical Power System Device

电力系统装置	时间同步准确度
线路行波故障测距装置	优于 1 $\mu$ s
同步相量测量装置	优于 1 $\mu$ s
广域控制保护装置	优于 1 $\mu$ s
雷电定位系统	优于 1 $\mu$ s
故障录波器	优于 1 ms
事件顺序记录装置	优于 1 ms
电气测控单元、远方终端、保护测控一体化装置	优于 1 ms
微机保护装置	优于 10 ms
安全自动装置	优于 10 ms
配电网终端装置、配电网自动化系统	优于 10 ms
电能量采集装置	优于 1 s
负荷/用电监控终端装置	优于 1 s
电气设备在线状态检测终端装置或自动记录仪	优于 1 s
集控中心/调度机构数字显示时钟	优于 1 s
火电厂、水电厂、变电站计算机监控系统主站	优于 1 s
电能量计费、保护信息管理、电力市场技术支持等系统的主站	优于 1 s
负荷监控、用电管理系统主站	优于 1 s
配电网自动化/管理系统主站	优于 1 s
调度生产和企业管理系统	优于 1 s

PTP IEEE 1588V2 不仅在成本、维护、安全等方面相对于 GPS 有一定的优势,而且是目前唯一能够实现亚微秒级的时间同步协议,精度与当前的 GPS 实现方案类似,因此成为业界最热门的时间传递协议。

PTN 设备支持 IEEE 1588V2 同步,实现时钟和时间的同步。PTN 设备通过 BMC 算法计算当前最佳的时钟源。BMC 全名为 Best Master Clock(最佳主时钟),是 1588V2 协议规定的一种确定网络中各时钟主从层级的算法。通过这种算法,将网络中的时钟划分为主、从时钟,从时钟跟踪主时钟的频率或者时间。在网络发生变化,或网络中某个时钟源的属性发生改变时,BMC 算法能重新选择最佳主时钟,使全网的时钟和时间达到同步。

PTN 设备支持的 IEEE 1588V2 时钟架构有四种模型:

1) OC(Ordinary Clock)模型:设备在 OC 模型

下在同一个 PTP 域内只有一个 PTP 端口参与时间同步。该设备可以作为从时钟设备同步于上游时钟,从支持 1588 报文的端口中获取时钟报文并恢复时钟。此外,当时钟节点作为时钟源时,可以只通过支持 1588 报文的端口将时钟向下游时钟节点发布时间,我们也称其为 OC。

2) BC(Boundary Clock)模型:设备在 BC 模型下,该时钟节点在同一个 PTP 域内拥有多个 PTP 端口支持 1588 报文的提取。它可同时作为主时钟设备和从时钟设备,通过其中一个端口从上游时钟节点同步时间,并通过其余端口向下游时钟节点发布时间报文。当时钟节点作为时钟源时,可以通过多个 PTP 端口向下游时钟节点发布时间的,而 OC 只能通过一个端口向下游分发时钟。我们也称其为 BC。

3) TC(Transparent Clock)模型:TC 模型与 BC/OC 模型相比,BC/OC 设备需要与其它时钟节点保持时间同步,而 TC 设备则不与其它时钟节点保持时间同步,只需记录对经过设备透传的 1588 报文的驻留时间。TC 设备具有多个 PTP 端口,这些端口间转发 PTP 协议报文并用驻留时间对其进行转发延时校正,而不会通过任何一个端口同步时间。

TC 包括以下两种类型:(1) E2ETC(End-to-End Transparent Clock,端到端透明时钟)模型:主从时钟之间使用端到端延时测量机制的一种 TC,计算整条链路的端到端延时;(2) P2PTC(Peer-to-Peer Transparent Clock,点到点透明时钟)模型:使用点到点延时测量机制参与计算整条链路上每一段链路的延时的一种 TC。该模型只直接转发 Announce 报文、Follow\_Up 报文和 Sync 报文,终结其它 PTP 协议报文。

4) TC + OC 模型:该模型既可以实现 IEEE 1588v2 报文的时戳时延补偿和透传,又可以实现时钟的同步。在该模式下,设备通过时钟源优先级算法来选择最优源,选取的时钟源会传递给系统时钟同步信息。

笔者最近在华为公司对 PTN 网络的 1588 功能进行了相关测试,测试结果如下:

测试步骤:(1)配置 PTN1 跟踪主时间服务器 BITS 的时钟和时间,PTN 网络采用 BC 模式实现全网时间同步;(2)采用带 GPS 接收机的时间分析

仪测试 PTN5 输出的时间偏差, PTN5 采用 1pps + TOD 与时间分析仪对接, 时间分析仪的时间跟 Bits 保持一致。

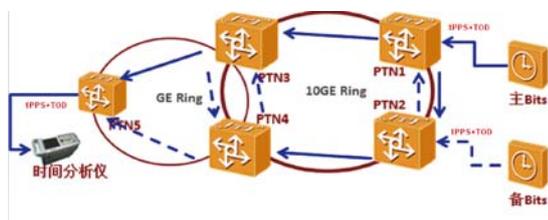


图 1 PTN 网络时间同步测试组网图

Fig. 1 The Topology of PTN Network for Testing Time Synchronization

测试结果: 12 小时同步精度保持在 30 ns 以内:

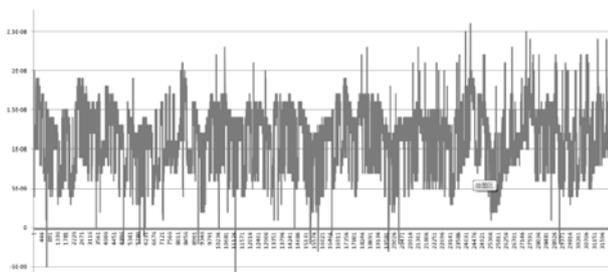


图 2 PTN 网络时间同步测试信号波形图

Fig. 2 The Signal Waveform Diagram of PTN Network Time Synchronization Test

### 3 PTN 网络传输地面时间同步信号方案分析

IEEE1588 在电力系统中目前已经应用于数字化变电站, 由站内的 BITS 设备给变电站内部的二次设备授时。在电力系统对统一时间的要求愈来愈迫切的情况下, 亟需研究如何采用 IEEE 1588 建设一个高精度、高可靠的广域时间同步网。

一个完整的电力地面 1588V2 同步网络由时钟/时间源、承载网、变电站 BITS 三部分组成, 如图 3 所示。



图 3 电力时间同步网逻辑图

Fig. 3 The Power Time Synchronization Network Logic Diagrams

对于时钟/时间源, 设备类型可以看成是增加了 GPS 卫星时间同步和 1588V2 功能的 BITS, 注入点一般选择放置在调度中心或高级厂站。一张 1588V2 同步网络一般配置一主一备两个时钟/时间源设备, 不同时钟/时间源通过配置不同的优先级实现备份。

对于承载设备, 一般采用分层结构, 可分为骨干层、汇聚层和接入层。承载网拓扑一般分为星形、链形、树形、环形等结构, 建议采用环形网络以便于实现网络保护, 末端可采用链形拓扑组网。从时间源设备 BITS 到承载网到变电站 BITS, 1588 时间同步链路上的网元一般不超过 30 个网元, 以确保时间同步精度。

理论上, 1588 时间服务器 (BITS) 可以从任意 PTN 网络节点引入, 考虑到部署及维护便利性, 一般时间源的位置需要尽量部署在网络的核心位置, 建议可以部署在调度中心或者高级厂站的机房。然后通过 PTP 口或者外时间口接入到 PTN 设备, PTN 设备再把时间分发到所有变电站。

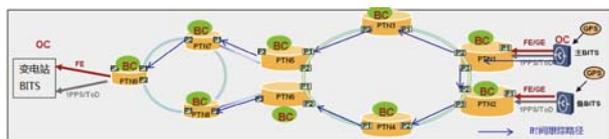


图 4 电力 PTN 地面时间同步组网图

Fig. 4 The Ground Time Synchronization Network Diagram of Power PTN

建议整网要部署主备时钟源, 时钟源能支持保护, 选择两个核心 PTN 节点(一个在调度中心机房、一个在高级厂站的机房)通过外时间接口 (1PPS + TOD) 或者 PTP 口 (支持 1588V2 的端口) 引入 BITS 时间源, 不同参考源之间通过配置不同的优先级来实现备份。

如果 BITS 跟 PTN 设备距离比较远, 电信号无法传递可以选择 PTP 端口, 如果距离很近, 可以采用 1PPS + TOD 接口。从 BITS/Server 获取时间的同时, 还需要同步频率, 可以采用外时钟口或者同步以太来实现与频率同步。

PTN 网络推荐使用 BC 模式逐点恢复时间, 然后再逐点往下传递。对于变电站的 PTN 设备, 可以配置成 BC 或 OC, PTN 设备可以采用外时间口 (1PPS + TOD) 或者 PTP (支持 1588V2 的业务口) 与 BITS 设备对接, 根据需要来安排。

BC 全网同步方式的优势在于每一个站点都进行时间恢复,可以逐跳测量同步精度,维护和问题定位比较方便。同时,BC 节点运行 BMC 算法,能够实现很好的 BITS 参考源和跟踪路径的自动保护倒换。

根据 1588V2 时间同步的实现原理,1588V2 时间同步是建立在 Master 和 Slave 之间的收发链路延时对称的基础上的,如果 Master 和 Slave 之间的收发链路延时存在不对称,将引入同步误差,误差的大小为链路延时不对称的二分之一。1 m 光纤的传输延时是 5 ns,那么 1 m 的不对称将引入 2.5 ns 的时间同步误差,400 m 的不对称将引入 1 us 的时间同步误差。在实际网络中,很难精确控制全网端到端的光纤不对称在 400 m 以内。因此在电力 1588V2 时间同步网工程部署中必须考虑网络的光纤不对称问题。

业界目前主要有 3 种光纤不对称解决方案:

1) 仪表逐点测量:在开局和维护过程中,采用 1588 仪表逐点测量设备的 1588 时间同步精度,根据测量到的时间同步精度反推出光纤不对称,然后进行补偿。

2) 单纤双向光模块:PTN 设备支持单纤双向光模块,收发都在同一根物理光纤上传输,从根本上彻底解决双纤收发链路延时的不对称,不需要进行测量和补偿。采用单纤双向光模块后,无论是开局还是维护,都不用下站测量。

3) 环网自动测量:采用普通双纤光模块,开局时通过仪表逐点测量完成光纤不对称补偿。在维护阶段,对于环形组网,则可以通过环网自动测量来避免断纤时重新下站测量,减少断纤维护的工程量。其基本原理是利用 1588V2 的 BMC 功能,环网断纤后,会自动倒换到备用路径,环上各节点的时

间同步精度仍然维持在可用的范围内;此时如果断纤处的光纤重新接上,设备可以先自动计算和上报新光纤的不对称,然后在网管上根据计算结果进行补偿,之后再倒换回之前的主用路径。

## 4 结论

从实现原理和测试情况来看,IEEE1588V2 时间同步协议可以达到亚微妙级的同步精度,能够满足电力业务的时间同步需求。随着 PTN 网络 1588V2 的能力越来越完善和工程部署经验的丰富,在电力通信网络中采用 PTN 网络实现 1588V2 时间同步可以开始进行试点和逐步推广,对进一步完善电力时间同步系统及智能电网的建设具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 陈宝仁. 电网一体化时频同步网建设方案研究 [J]. 电力勘测设计, 2012, 2(8): 57-62.  
CHEN Baoren, Construction scheme of integrated timing and clock synchronization system in power grid [J], Electric Power Survey & Design, 2012, 2(8): 57-62.
- [2] 孙海蓬, 王海洋, 于昉. 山东电力 PTP 时间同步网的建设与展望 [J]. 电力系统通信, 2010, 8(9): 21-25.  
Sun Haipeng, Wang Haiyang, Yu Fang, Construction and Expectation of Time-Synchronization System Based on PTP in Shandong Power Communication Network, Telecommunications for Electric Power System, 2010, 8(9): 21-25.
- [3] 宋乐乐, 刘小兵, 孙信军, 等. 1588 时间同步在下一代电力骨干网中的部署 [J]. 电力系统通信, 2012, 11(2): 11-14.  
Song Lele, Liu Xiaobing, Sun Xinjun, Li Zhiqiang, Fu Xiaojuan, Deployment of 1588 Time Synchronization in Next Generation of Power Backbone Network, Telecommunications for Electric Power System, 2012, 11(23): 11-14.

(责任编辑 张春文)