

# 电力系统 IEC61588 时钟设备协议一致性测试研究

黄岩 穆小亮

许昌开普检测研究院股份有限公司

DOI:10.32629/hwr.v3i6.2252

**[摘要]** IEC61588 协议是一种基于网络的精确时间同步协议,通过报文的交互实现时间的精确同步。目前,应用在电力系统的 IEC61588 时钟设备因为协议层的设计不规范、不统一,导致了诸多互联互通问题的诞生,这凸显了针对该类时钟设备开展 IEC61588 协议一致性测试的必要性。本文在电力系统 IEC61588 时间同步系统测试和研究的基础上,对 IEC61588 时钟设备协议一致性测试的概念、内容和方法进行分析与研究。

**[关键词]** IEC61588; 电力系统; 精确时间同步协议; 协议一致性

## 引言

IEC61588 的基本功能是使分布式网络<sup>[1]</sup>内的各个时钟均与其中的最精确时钟保持同步状态。它定义了一种精确时间同步协议(简称PTP协议,即precision time protocol)<sup>[2]</sup>,用于对标准以太网或其他采用多播技术的分布式总线系统中的各需对时设备进行对时同步,实现亚微秒级的时间同步精度。

目前,IEC61588协议以其高精度和易于在以太网上实现的特点,越来越得到电力系统,特别是智能变电站中各时钟同步系统的青睐<sup>[3]</sup>。用于电力系统时间同步的主时钟基本都具备了PTP信号的输出能力,例如,智能变电站过程层和间隔层的诸多二次设备也实现了对IEC61588协议的支持。

在利用IEC61588协议进行时间同步的智能变电站时间同步系统试点项目中,已经出现了1588对时网络、GOOSE网络和SMV网络三网并存的局面。IEC61588精确时间协议既能保证智能变电站各分散时钟的精度要求<sup>[4]</sup>,又能减少硬件资源的开销,与传统对时方式相比,显现出极大的优势<sup>[5]</sup>。

然而,由于不规范的开发方式,不同厂家的产品在协议设计上的不统一、不一致导致了诸多互联互通的问题,在已经投运的智能变电站中主时钟、从时钟和透明时钟交换机之间无法互联互通的现象时有发生。为确保支持IEC61588协议各智能设备能正常互连互通及稳定时间同步,对此类设备进行IEC61588 协议一致性测试是十分必要的。

## 1 协议一致性测试简介

协议一致性测试,即针对某个网络协议的实现,协议测试者依据协议中的具体说明,通过对被测实体进行测试,验证协议实现是否与相应的协议标准相一致。被测系统是一个黑盒子,测试者只能根据被测系统对输入的响应来分析判断。

IEC61588时钟设备协议一致性测试针对数据集、报文和功能/性能展开,检验智能变电站1588时间同步网络中时钟设备的设置和工作原理是否符合标准的规定,从而保证各时钟设备有效地进行互联互通,保证对时过程的有效完成。常见的1588时钟设备分类如表1所示:

表1 IEC61588时钟设备分类

Table 1 IEC61588 clock device classification

时钟类型	时钟模型	角色功能
主时钟	普通时钟	祖父时钟,输出PTP信号
从时钟	普通时钟	间隔层/过程层被对时设备
透明时钟	边界时钟	交换机,转发PTP报文

## 2 IEC61588 协议一致性测试研究

通过研究标准和总结现场测试经验,笔者认为IEC61588 时钟设备的协议一致性测试可以分为三个层面:数据集一致性测试、报文一致性测试以及功能一致性测试。

### 2.1 数据集一致性测试

表1中所列三种1588时钟设备均具有自己的时钟数据集,包括五个部分:缺省数据集、当前数据集、父数据集、时间数据集和端口数据集。每个子数据集均包括静态、动态和可组态三种成员。静态成员主要决定时钟的内在属性,例如时钟类别、BMC算法等。动态成员在时钟网络结构和时钟状态发生变化时进行相应更新,保证1588时钟设备行为属性的正确性。可组态成员主要为PTP管理机制服务,只有通过管理报文才可以对其进行修改。

针对数据集展开测试,主要是验证1588时钟设备的初始数据集成员的属性值是否正确,对时过程中网络结构和环境条件发生变化时数据集更新是否正确,可以有效保证1588时钟设备的正确、安全和稳定运行。

### 2.2 报文一致性测试

IEC61588是一种基于报文传递的对时机制。报文类型分为三种:通用报文、事件报文和管理报文。通用报文包括Announce报文和Follow\_up报文两种,前者主要负责配合完成BMC算法机制,后者主要负责配合Sync报文完成对时任务。事件报文包括Sync报文、Delay\_Req报文和Delay\_Resp报文,主要负责完成偏差和链路延迟计算机制,进而完成对时。

IEC61588标准和行业规范规定了PTP报文的格式、属性值、发送周期、收发/转发逻辑和超时机制,明确了各个报文收发所应携带的内容和遵守的规则。针对PTP报文展开测试,

主要包括以下内容:

2.2.1 PTP报文内容、格式的正确性。这是为了保证各PTP报文所携带的信息正确无误并被报文接收方正确解读。

2.2.2 PTP报文发送周期的正确性。IEC61588标准和行业规范对Announce报文、Sync报文和Delay\_Req报文的发送周期有严格的规定。1588时钟设备在发送相应报文时报文间隔的分布应遵守标准和行业规范的要求,确保报文接收方的正确响应。

2.2.3 PTP报文收发逻辑的正确性。在1588时钟设备间,不同的报文要遵循不同的收发逻辑,正常情况下一般不会出现故障,但当网络结构不稳定导致报文的传递出现异常时,就必须保证PTP报文发送方和接收方在报文接收和响应机制上严格遵守标准和行业规范的要求,不误动、不误报、不误传,进而保证对时过程的安全性。

2.2.4 PTP报文超时机制的正确性。IEC61588标准和行业规范对通用报文和事件报文规定有明确的超时机制,当不同类型报文接收超时时,1588时钟设备的所表现出的行为特性应符合标准的要求,确保偏差纠正和链路延迟计算机制不出现故障。

### 2.3功能逻辑一致性测试

在遵循IEC61588标准和行业规范的基础上,1588时钟设备所表现出的功能应与标准要求一致,例如: BMC算法、状态机、偏差和延迟计算、驻留时间校正、时钟降级等[7]。

2.3.1 BMC算法的正确性。它决定了1588时间同步网络中的各时钟设备是否能快速准确地进入自己的角色,表现出各自应有的状态。

BMC算法既可以使同一PTP域中的从时钟选择到该域中最好的主时钟,保证其拥有最好的精度,又可以使主从时钟有效排除域外主时钟PTP报文的干扰和影响。此外,当PTP域中存在主、备主时钟时, BMC算法也可以保证两者之间正常切换,时刻保持最好的主时钟发挥对时作用。所以,检验时钟设备BMC算法的正确性是协议一致性测试的重点,对于智能变电站1588对时网络的意义也不言而喻。

2.3.2状态机的正确性。端口状态是1588时钟设备运行工况的最直接体现,当外界环境发生变化或者时钟设备自身的属性发生变化时,时钟设备必须按照标准规定的状态机制进行端口状态的演变,进而表现出特有的属性。

状态机的正确性决定了1588主时钟、从时钟设备是否按照正常的转换机制进行端口状态的变化。在BMC算法发挥作用、装置初始化、故障出现及其它情况发生时,1588时钟设

备的状态应各自按照标准的要求变化。这样一来就可以保证1588对时网络不出现异常,并且通过状态的变化提示变电站监控人员问题所在,便于及时发现和解决问题。

2.3.3偏差和延迟计算的正确性。偏差和延迟计算机制存在于主时钟与透明时钟、透明时钟与从时钟之间,分为端对端(E2E)和点对点(P2P)两种模式。

偏差和延迟计算的正确性决定了透明时钟转发报文的正确性以及从时钟与主时钟之间对时精度的吻合度,保证从时钟与主时钟之间的精度误差维持在纳秒级的水准,满足智能变电站过程层设备对时精度的需求。

2.3.4驻留时间校正的正确性。驻留时间是针对透明时钟而存在的概念,作为主、从时钟之间的桥梁,透明时钟担负着转发PTP对时报文的任务,而事件报文通过透明时钟所消耗的时间即为驻留时间。

驻留时间校正的正确性决定了透明时钟交换机的优劣,透明时钟必须保证将报文经过其的准确时间写入标准所要求的报文中传给从时钟设备。从时钟解析透明时钟转发的报文,利用该驻留时间纠正链路延迟,完成对时过程。

## 3 结语

随着IEC61588精确时钟协议在电力系统中的应用的深入,为了时间同步的成功率和稳定性,针对IEC61588时钟设备的协议一致性测试也变得越来越紧迫和重要。

### [参考文献]

[1]陈宏辉,蔡泽祥,王海柱.基于 IEC61588 的变电站过程层采样值同步技术研究[J].电力系统保护与控制,2012,(12):141-145.

[2]陈炯聪,崔全胜,魏勇.适用于数字化变电站的 IEC61588 测试仪的研制[J].电力系统保护与控制,2012,(14):137-142.

[3]崔全胜,魏勇.PTP 1588协议的分析[J].电力系统保护与控制,2011,(10):148-154.

[4]莫荣辉.电力系统时间同步系统存在的问题与维护[J].自动化应用,2013,(7):97-98.

[5]赵上林,胡敏强,窦晓波.基于 IEC61588 的数字化变电站时钟同步技术研究[J].电网技术,2008,32(21):97-102.

### 作者简介:

黄岩(1993—),男,河南省许昌市人,本科学历,工程师,研究方向:智能变电站自动化设备及系统、电力系统信息安全、软件测试。

穆小亮(1988—),男,河南省许昌市人,硕士研究生,研究方向:智能变电站自动化设备及系统、通信网络。