

基于卫星共视技术的泛在电力物联网时间同步网

段翔兮,冯世林,李小鹏,吴杰,高艺文,龙呈
(国网四川省电力公司电力科学研究院,四川成都 610041)

摘要: 为了实现泛在电力物联网下调控中心之间、调控中心与变电站、变电站之间的高准确度跨区域时间同步,研究了基于卫星共视技术的天基时间同步网实现方法,研制了卫星共视授时装置,搭建了天基时间同步网实验系统。基于卫星共视的天基时间同步网不仅消除卫星钟差、星历误差等影响因素而提高了时间同步的准确度,而且解决了标准量值传递的溯源问题。

关键词: 泛在电力物联网; 卫星共视; 时间同步网; 共视授时装置

中图分类号: TN927 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2019)05-0001-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.05.001

Time Synchronization Network in UPIoT Based on Satellite Common-view Technology

Duan Xiangxi, Feng Shilin, Li Xiaopeng, Wu Jie, Gao Yiwen, Long Cheng
(State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: In order to achieve high accuracy and cross-regional time synchronization between the control centers, between the control center and the substation and between the substations in ubiquitous power internet of things (UPIoT), the realization method of space-based time synchronization network based on satellite common-view technology is studied. The satellite common-view timing device is developed and a space-based time synchronization network experiment system is built. The space-based time synchronization network based on satellite common-view not only eliminates the influence factors such as satellite clock error, ephemeris error and so on, but also improves the accuracy of time synchronization, and solves the problem of traceability of scalar value transmission.

Key words: ubiquitous power internet of things (UPIoT); satellite common-view; time synchronization network; common-view timing device

0 引言

随着泛在电力物联网建设的稳步推进,作为枢纽型、平台型和开放型的电力物联网将不止融合电网相关信息,还会实现用户信息、外部信息等多源信息接入、融合。而统一的时间基准、精确的时间标注是高效融合应用上述信息并保障数据质量的重要要求,为平台层和应用层的建设、数据的变现业务打下坚实基础。同时,电力系统的测控、保护不只局限于就地,而是跨区域的广域测量和广域保护,支撑智能电网的各种高级应用都需要整个电网的断面数据作为应用基础,这就要求相关的一次设备对应的数据采集时间是精确同步的^[1-2]。

目前,电力系统常规使用的对时方式是在调控中心、变电站、发电厂各自部署时间同步系统来保证各自区域内的设备所使用的时间是同步的,所用时间来源均为北斗或 GPS 单向授时,不可溯源,其可信度取决于时间传递各个环节的正确性,时间同步精度不达标甚至时间错误等问题往往是在后期数据分析中才被发现。

基于卫星共视技术实现的卫星共视授时装置可以经济、高效、便捷地实现远距离高准确度时间同步。而利用卫星共视授时装置组建的天基时间同步网,可以快捷地实现调控中心与变电站、调控中心之间、变电站之间的高准确度跨区域时间同步,并能够解决标准量值传递的溯源问题。

1 卫星共视的基本原理

所谓“共视”就是2个不同位置的观测者,在同一时刻观测同一颗卫星。也就是在一颗卫星的视角内地球上任何2个地点的时钟可以利用同时收到的同一颗卫星的时间信号进行时间、频率的对比和同步^[3]。

两地时钟之间的时间差可通过式(1)、式(2)和式(3)求得,式(1)中 Δt_{ASV} 为A地时钟时间 t_A 减去卫星时间 t_{SV} ,再减去路径延时 d_A ,式(2)中 Δt_{BSV} 同理。式(3)中 Δt_{AB} 为两地时钟之间的时间差,由式(1)减去式(2)得到。

$$\Delta t_{ASV} = t_A - t_{SV} - d_A \quad (1)$$

$$\Delta t_{BSV} = t_B - t_{SV} - d_B \quad (2)$$

$$\Delta t_{AB} = (t_A - t_B) - (d_A - d_B) \quad (3)$$

通过式(3)降低了2个观测点所共有的误差,但不能消除传输中的星历误差,通过估算卫星的位置将星历误差减到最小。

式(4)为校频的基本公式。

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta t}{\tau} = \frac{\Delta t_{i+\tau} - \Delta t_i}{\tau} \quad (4)$$

式中: $\Delta f/f$ 为相对频偏; τ 为校频的时间间隔^[4]。

假设A为主站,B为子站,通过式(4)得出的频率差调整子站的铷钟(频标源)的频率,使得与主站的频率差小于某一阈值,同时调整子站的秒沿起点,最终使子站时间溯源到主站,实现两站的时间同步^[3]。

如图1所示,通过对卫星和用户之间的伪距和时差进行分析,以缩小星历误差、对流层和电离层的延时误差。

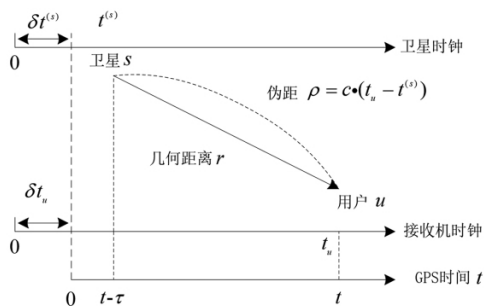


图1 时差及伪距的测量

鉴于GPS时间与接收机时钟产生的时间不同,以 $\delta t_u(t)$ 表示接收机的时钟钟差,对应于信号接收时间 t_u 的GPS时间为 t ,将GPS时间为 t 的接收机时钟 t_u 记为 $t_u(t)$ ^[5],则

$$t_u(t) = t + \delta t_u(t) \quad (5)$$

因为各个卫星时钟与GPS时间并不是严格同步。GPS时间 t 与卫星时钟 $t^{(s)}(t)$ 存在以下关系:

$$t^{(s)}(t) = t + \delta t^{(s)}(t) \quad (6)$$

式中, $\delta t^{(s)}(t)$ 为卫星时钟钟差。

为了确保卫星的时钟与GPS时间同步,卫星时钟在GPS时间为 t 时的卫星钟差 $\Delta t^{(s)}$ 描述成一个二次式:

$$\Delta t^{(s)} = a_{f0} + a_{f1}(t - t_{oc}) + a_{f2}(t - t_{oc})^2 \quad (7)$$

式中, a_{f0} 、 a_{f1} 、 a_{f2} 和 t_{oc} 均由卫星导航电文的第一数据块给出。

卫星时钟的校正量还应该包括相对论相应的校正量 Δt_r 。

$$\Delta t_r = F \cdot e_s \sqrt{a_s} \sin E_k \quad (8)$$

式中: e_s 为卫星导轨偏心率; a_s 为导轨长半径; E_k 为偏近点角; F 为常数。

单频接收机还应该考虑群波延时校正正值 T_{GD} ,它由卫星导航电文的第一数据块给出。因此,对于L1单频接收机卫星时钟总的钟差值 $\delta t^{(s)}$ 为

$$\delta t^{(s)} = \Delta t^{(s)} + \Delta t_r - T_{GD} \quad (9)$$

设GPS信号到接收机的传播时间为 τ ,GPS时间与卫星时钟在信号发射时刻 $(t - \tau)$ 时的关系可表达为

$$t^{(s)}(t - \tau) = t - \tau + \delta t^{(s)}(t - \tau) \quad (10)$$

伪距 $\rho(t)$ 为

$$\rho(t) = c [t_u(t) - t^{(s)}(t - \tau)] \quad (11)$$

在大气折射效应的作用下,信号的实际传播由以真空光速 c 穿过两点之间的几何距离 r 所需的时间和大气折射造成的传播延时两部分组成,大气折射造成的延时被分解成对流层延时 $T(t)$ 和电离层延时 $I(t)$ 两部分,即:

$$\tau = \frac{r(t - \tau)}{c} + I(t) + T(t) \quad (12)$$

将式(5)、式(10)和式(12)代入式(11)得^[6]

$$\rho(t) = r(t - \tau) + c[\delta t_u(t) - \delta t^{(s)}(t - \tau) + cI(t) + cT(t) + \varepsilon_p(t)] \quad (13)$$

式中,引入了一个值未知的伪距测量噪声量 $\varepsilon_p(t)$ 。

2 卫星共视授时装置

2.1 卫星共视授时装置原理

图2给出了主站(国家授时中心)与子站通过

卫星共视对比方法实现时间同步的原理示意图。

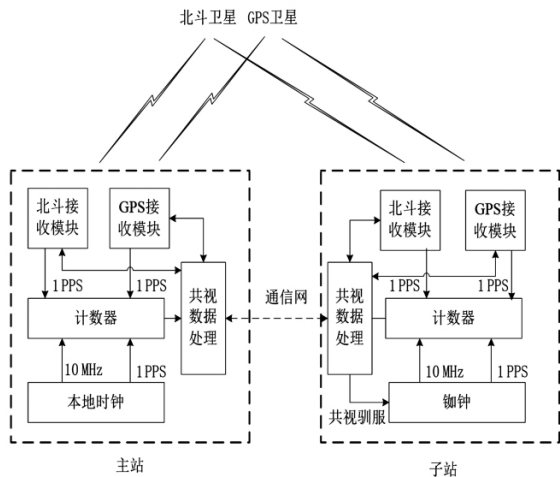


图 2 卫星共视方法实现时间同步的原理

在主站和子站分别设置卫星共视授时装置接收北斗卫星和 GPS 卫星的相关信息,每秒提取 1 个脉冲(1 PPS),计数器每秒输出一个时差值以实现时间溯源同步于国家授时中的协调世界时(UTC)^[7-8]。

2.2 卫星共视授时装置功能

1) 高精度授时、高稳定度守时

共视授时准确度优于 10 ns,守时性能优于 50 ns/h、1.5 μs/d。

2) 灵活的授时工作模式

装置可工作于 3 种授时模式:共视授时模式、单向授时模式和内部守时模式,授时模式可以根据工作条件自适应切换,也可以固定某一种授时模式。

3) 多元化的共视数据链路选择

共视数据链路可以选择 GPRS、网络或串口。

4) 时间基准输入通道延迟补偿可调

各时间基准源(无线或有线)输入分通道延迟补偿可调,保证输入基准源切换时内部时间基准平滑一致。

5) 输出时间信号通道延迟补偿可调

输出时间信号分通道延迟补偿可调,保证各被授时设备的时间精确同步。

6) 便捷的状态及日志查询

便捷查询告警接点、各输入/输出时间信号、网口、串口、卫星(北斗和 GPS)、GPRS 等装置接口状态,提供多达 1000 条装置日志查询,准确了解装置的运行状态。

7) 支持后台系统远程管理

通过后台管理系统可对设备进行远程管理,如状态监控、参数设置、日志读取等。

3 天基时间同步网

3.1 天基时间同步网架构

电力系统天基时间同步网是利用卫星共视授时装置,以调控中心为主站实现的调控中心之间、调控中心与变电站、变电站之间的一主多从的时间同步网。

以省级时间同步网为例,如图 3 所示。通过卫星共视,省调时间同步系统时钟溯源(同步)于中国国家授时中心(位于陕西临潼),两台卫星共视授时装置分别部署两地,装置之间通过公共链路(如 GPRS)交换数据。各省属地调、变电站的时间同步系统的时钟溯源(同步)于省调时间同步系统,位于地调、变电站的卫星共视授时装置通过 SDH 传输网(电力调度数据专网)与省调卫星共视授时装置实现数据交换。

图 3 中,实现了省级时间同步网的时间同步于北京时间(源于中国国家授时中心),如果将虚框去掉,则可以实现以省调时间同步系统为基准源的区域时间同步网。

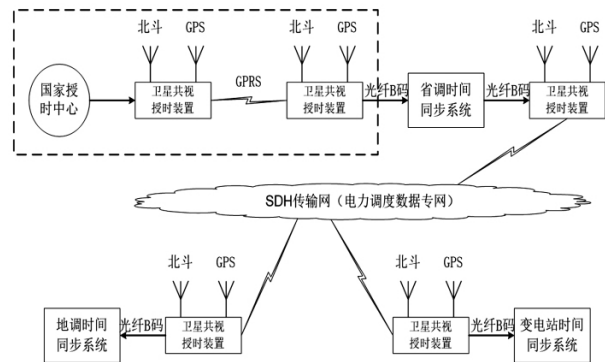


图 3 基于共视原理的天基时间同步网

由于在调度中心、变电站运行的计算机系统、二次设备的信息交互都是在内网中完成,而国家授时中心与电网公司没有内网连接,只能通过公网(GPRS)交互信息,因此,为满足安全防护要求,卫星共视授时装置与省调时间同步系统采用光纤 IRIG-B(DC)码时间信号传递时间。

采用卫星共视原理实现时间同步,特别适合于不同区域的个别变电站与省调时钟同步,即实现各孤立节点的时间同步。比如,在广域保护中,为实现广域保护所涉及的变电站间的时间同步,通过卫星

共视的手段最便捷。也就是说,在特高压互联的坚强电网中,卫星共视是目前最理想的实现跨地域的时间同步的方法。

3.2 天基时间同步网管理系统

天基时间同步网管理系统是通过网管的方式,对网内的卫星共视授时装置、时间同步装置等设备进行参数、状态、日志等信息进行远程管理。系统可远程配置被管理设备各项参数,并对其工况、功能、性能、日志等汇总信息进行统计分析处理,并进行数据存储。

管理系统与现有调度自动化主站软件采用一体化设计,作为主站软件的一个功能模块运行,通信规约采用符合现有远动通信规约的方式。管理系统应具备强大的统计分析功能,支持横向比对和纵向比对。可对设备的本地时间、GPS时间、北斗时间、地面时间进行统计分析和趋势图绘制。通过对设备状态的监控,运行管理人员能及时发现问题解决问题,从而提高时间同步网内设备功能的正确性、稳定性,最大限度保证设备正常运行。

4 结 语

通过对卫星共视技术基本原理的分析,给出了卫星共视授时装置的模型,并基于该模型搭建了基于卫星共视的天基时间同步网试验系统,其授时精度优于10 ns,满足电网系统的时间与国家授时中心的授时允许误差,满足电网跨区域时间同步应用需求。采用一体化设计的管理系统软件可对管理区域内的卫星共视授时装置、时间同步装置等设备进行故障率、故障类型、性能统计,从而提高时间同步网内设备功能的正确性、稳定性,最大限度保证设备正常运行。

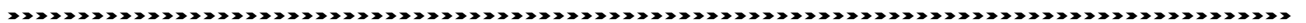
参考文献

- [1] 杨挺,翟峰,赵英杰,盆海波. 泛在电力物联网释义与研究展望[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(13): 9-20.
- [2] 李易. 泛在电力物联网在电力系统中应用的展望[J]. 科技创新与应用, 2019(22): 175-176.
- [3] 陈瑞琼,刘娅,李孝辉. 基于改进的卫星共视法的远程时间比对研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(4): 757-763.
- [4] 赵莎. 基于卫星共视法的电网时频测量及同步技术[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(12): 49-52.
- [5] 李东新,杨伟才,常青,等. 伪卫星共视法时间同步模型及其精度分析[J]. 导航定位与授时, 2015, 2(4): 39-47.
- [6] Yi H, Wang H, Zhang S, et al. Research on Time and Frequency Transfer Based on BeiDou Common View[C]// 2015 Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium & the European Frequency and Time Forum, 2015: 553-556.
- [7] 赵当丽,翟慧生,胡永辉,等. 利用卫星共视比对系统实现电网的时间同步[J]. 现代电力, 2010, 27(2): 70-73.
- [8] Kong Y, Yang X, Chang H, et al. Method of Precise Common-View Frequency Transfer Based on BeiDou GEO Satellite[C]. Frequency Control Symposium IEEE 2014: 1-4.

作者简介:

- 段翔兮(1991) 硕士,主要从事电力系统自动化技术研究;
- 冯世林(1971) 高级工程师,主要从事变电站自动化技术研究;
- 李小鹏(1987) 博士,主要从事特高压直流输电、电网设备监控研究工作;
- 吴杰(1986) 硕士,主要从事变电站新技术研究;
- 高艺文(1989) 硕士,主要从事配电网自动化技术研究;
- 龙呈(1987) 博士,主要从事变电站自动化技术研究。

(收稿日期: 2019-06-04)



欢迎投稿 欢迎订阅

投稿邮箱: cdscdljs@163.com