

用电信息采集时钟同步技术的应用研究

赵宏大, 祁万春, 杨俊义

(江苏省电力公司电力经济技术研究院, 江苏 南京 210008)

摘 要: 用电信息采集系统是用户状态检测、负荷特性分析的主要技术手段, 并为电力系统的其他应用提供用电信息数据源及综合应用分析功能。随着用电信息采集系统规模的不断扩大, 应用的不断增加, 对数据采集的时间精度提出了更高要求。本文简要介绍用电信息采集系统的总体情况, 对主流时钟同步技术进行分析比较, 针对时钟同步的应用方式展开探讨。根据研究分析, 提出时钟同步的应用建议, 供用电信息采集系统建设参考。

关键词: 用电; 时钟; 同步; 应用

0 引言

用电信息采集系统是利用通信技术、信息网络技术, 将分散在城镇的配变电量数据和居民智能电表在线数据进行远程采集, 并通过集中器和通信信道传输到主站端, 进行电量信息分析展示的一套系统^[1]。用电信息采集系统可以全面、及时、准确地掌握用户用电信息, 为负荷预测、需求侧管理提供依据。建设“全覆盖、全采集、全费控”的用电信息采集系统, 不仅可以提高营销系统的自动化程度, 实现电力营销精益化管理, 还为基于用电采集数据的大数据应用提供有力支撑。随着系统功能的增加, 系统的时钟同步精度及其可靠性也更为重要。本文旨在分析时钟同步技术, 提出若干建议, 供工程建设参考。

1 主要同步技术

1.1 物理时钟

常用物理时钟源可分为铯钟、铷钟和晶体钟三类。铯原子钟的精度最高, 守时能力最强, 通常以若干铯钟构成钟组, 根据误差特性加权处理后输出作为地面基准时钟源。铷原子钟是一种实用型原子频标, 其性能指标不如铯钟, 但其价格较低、性能稳定、小型化程度高, 是应用范围最广、价格最低廉的原子频标。晶体钟价格低廉, 精度也最低, 常作为低等级同步时钟源或设备内部时钟。用电信息采集终端的内部时钟普遍采用晶体钟, 短期守时精度可控制在 7×10^{-8} 量级。

单个物理时钟的误差特性是随机的, 受环境、

电压和运行年限等因素影响较大。随着时间的推移, 会形成较大的计时误差, 需要定期校时。出于成本考虑, 端站时钟的守时能力有限。如果校时周期过短, 则校时工作量太大; 如果校时周期过长, 则较长时间内时钟的状态不受控, 采样精度无法保障。因此, 端站物理时钟需要辅以合适的校时手段, 设置合理的校时周期。

1.2 卫星授时

卫星授时系统主要有美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧洲的伽利略和我国的北斗系统等。卫星授时系统的原理基本一致, 其中 GPS 系统技术最为成熟, 应用最为广泛, 这里以 GPS 为例介绍。

GPS 是美国国防部研究建立的“授时与测距导航系统/全球定位系统”的缩写, 通常简称为全球定位系统。GPS 的基本原理是几何定位, 两球体相交为一个圆线, 三球相交为空间两点, 四球相交为空间唯一点, 也就是说, 如果 GPS 接收机能获知四颗卫星的空间坐标和相应的星机距离即可确定自己的空间位置。GPS 卫星空间坐标通过接收卫星广播的导航电文直接获知, 星机距离则是通过测量卫星广播的测距码的传输时延, 再通过“光速”乘“时延”计算得出的。测距码实际是“测时码”, 它是卫星和接收机都预知的特定的 GOLD 序列, 具有良好的自相关特性, GPS 卫星不间断地周期性广播测距码。时延测量的过程中, GPS 接收机先假设本机时间与卫星时间同步, 通过“码相关”计算测量时延。当星机存在钟差时, 四个球体将无法交于一点, 接收机通过调整本机时间“改变”星机距离“凑成”四球相交一点, 即实现了星机时间同步, 也实现了接

收机定位。授时和定位是互为因果的。实际环境中，接收机通常可以搜索到四颗以上卫星信号，通过选取不同的四颗卫星数据比对，校验授时定位结果，优化误差特性。

GPS 卫星上配有原子钟组，且周期性接受地面站的校时，可以保持非常高的时间同步精度。因此，正常情况下GPS接收机的授时定位精度非常高^[2]。

GPS 信号主要由 C/A 码、P(Y) 和导航电文码组成，导航电文包含卫星星历、电离层修正参数等，C/A 码、P(Y)是测距码，C/A 码精度较低，又称为粗码。P(Y)码又称为精码，精度远高于 C/A 码，但需特许授权才可使用。

表 1 GPS 信号特征明细表

序号	类别	码长度(码片)	码片速率
1	C/A 码	1023	1.023MHz
2	P(Y)码	6.1817×10^{12}	10.023MHz
3	导航电文	1500	50Hz

注：1) C/A 码结构、内容众所周知，在 L1 频段发送；
2) P 码为半公开，根据美国 AS (Anti-Spoofing) 政策，先 P 码与绝对保密的 W 码模二加运算生成 Y 码在 L1/L2 频段发送，非特许用户无法正常使用 P (Y) 码。

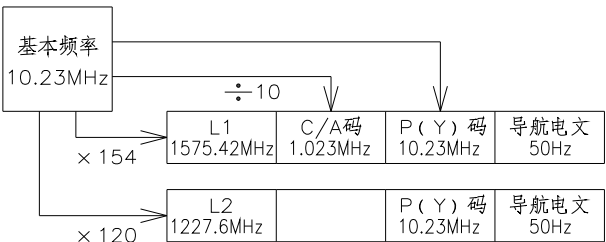


图 1 GPS 卫星信号构成示意图

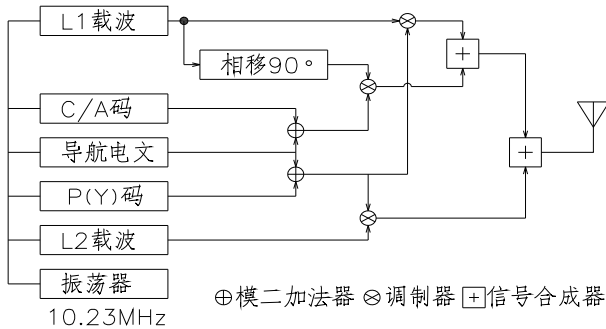


图 2 GPS 卫星信号电路示意图

GPS 授时的主要缺陷是，GPS 信号受美国军方控制，民用 C/A 码精度较低，GPS 信号易受大气电离层、对流层干扰，可能发生短期授时精度劣化。随着我国北斗系统的发展，北斗/GPS 双模多频接收机已经商用，完全可以满足用电信息采集系统要求。工程应用中，接收机通常配置本地晶体钟，将卫星授时的长期稳定度与物理时钟的短期稳定度优势结

合。

1.3 网络时间协议

NTP（网络时间协议，Network Time Protocol）是基于 IP 网络进行时间同步的通信协议，目前已发展到第四版（NTPV4），标准化文档为 RFC5095。NTP 框架内采用分层主从结构，从机通过 NTP 报文跟踪上级主机时标。NTP 的同步过程大致为：从机向主机发送附带时间戳的报文，主机接收报文后嵌入主机时间戳再返给从机，从机接收报文并记录接收时间。从机根据收发本地时间记录得出传送总时延，假设收发时延对称推算出报文到达主机的从机时间，再根据主机时间戳求得钟差修正从机时间，从而实现主从机的时间同步。

NTP 协议简单，对硬件要求较低，较为经济，但需具备通道条件，且有通信成本。NTP 协议的同步精度受网络时延、抖动影响较大。实际信道，由于网络流量不对称，收发时延通常是不对称的，由此产生一定的同步误差。

1.4 精确时钟同步协议

PTP（网络测量和控制系统的精确时钟同步协议，Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control System）是基于 IP 网络进行高精度时间同步的协议，目前已发展至第二版，标准化文档为IEEE1588: 2008。PTP 与 NTP 的时间同步原理大体一致，PTPV1 的同步精度显著优于 NTP，PTPV2 引入了透明时钟概念，可以有效抑制时延不对称造成的误差，同步精度更为优异，但需路由硬件上支持该功能。时延不对称是影响同步精度的重要因素，不对称主要是因为报文转发时延的随机性引入。支持透明时钟的路由器可记录双向报文的驻留时间，从而去除双向时延不对称的问题^[3]。

PTPV2 在公用通信网中得到了推广，移动、电信、联通三大运营商无线基站的时间同步方面都有规模应用。电网公司在 PTPV2 应用上也有很多积极的尝试。PTPV2 的主要缺点是，对路由器硬件要求较高，要求通信子网较为稳定，时间同步精度要求较高时，需要密集同步运算，略影响网络流量。

2 应用分析

用电信息采集系统的端站节点众多，较多依赖本地时钟和人工校时，缺乏同步监测手段，难以满

足采样数据精度要求。当前，首要的问题是加入监测手段，及时发现故障解决问题，在有条件的情况下可以开展网络授时、实现天地互备等。

江苏省电力公司开展了时间精度监测方面的研究，开发出专用监测装置，监测装置通过 1PPS 或 IRIG-B 码等方式接收 GPS 接收机或本地晶体钟的时间输出，同时监测装置通过数据网络与主站采用 NTP 协议实现时间同步，通过比对本地图时间和 NTP 时间判断本地时间状态。晶体钟的短期稳定性较好，多可保持毫秒级甚至微秒级的精度，GPS 时间同步精度则更优，信号正常情况精度优于微秒级，正常情况本地时间的精度还是很高的，而 NTP 时间受网络流量影响，时间同步精度通常在亚毫秒级。当本地时间与 NTP 时间偏差在一定范围内时，可认为本地时间在受控范围，仍采用本地时钟，当时间偏差过大时，应向主站告警及时检修更换，本地时钟支持 NTP 的，可以切换为 NTP 时间。

表 2 常用时间同步接口

时间信号类型	电接口
1PPS	TTL、空节点、
IRIG-B(DC)	TTL、RS232、RS422、RS485
串口报文	RS232、RS422、RS485
NTP	RJ45
PTP	RJ45

1PPS 脉冲信号通常与串口报文配合使用，串口报文包含当前年月日时分秒信息，脉冲信号实现秒级再校准。脉冲信号分为有源和无源两类，有源信号多采用 TTL 电平，也有采用 24V 电平，无源信号一般为空节点方式。国内一些制造厂通过差分芯片将空节点秒脉冲转换成差分电平输出，提高了抗干扰能力，同时增加了对时距离，由秒脉冲信号几十米的距离提高到差分信号 1 千米左右，而且差分信号可以总线的形式与多个装置同时对时。

IRIG-B(DC)接口及协议较为规范，宜优先选用。IRIG-B 接口有 TTL 电平、差分±5V、24V 电平和各类串口等，一般默认采用 TTL 电平输出，采用其他电平信号时，可通过调整接口电阻方式解决。

在加强时间状态监测的基础上，还应积极开展网络授时应用。NTP 授时方式较为经济，PTP 授时可以提供更高的时间同步精度。关于 PTP 的时间同步效果，我们进行了一系列测试。局域网环境下，数据网络不支持 PTP，同步精度在 0.4ms 以内；数据网络支持 PTP，同步精度在 0.15ms 以内。电力城域网环境目前还无法提供全程支持 PTP 的条件，实

测同步精度通常可以控制在 0.1ms 内，恶劣条件下通常也可以控制在 0.5ms 以内。PTP 授时的精度很好，但对硬件条件要求较高，这也限制了它的应用推广。

3 结论

用电信息采集系统的时间同步方案应根据具体环境和要求确定，以合理、经济为原则。

对时间精度要求不敏感的区域，建议采用本地时钟或 GPS 为主，同时附加同步状态监测方案，加强对时钟状态的监测。时间精度要求较高的区域或专变用户，可以考虑采用状态监测+NTP 授时方式，要求特别高的可考虑采用 PTP 授时方式。

本地时间链路可采用 B 码、秒脉冲或差分信号等时码及相应的物理接口，传送同步信号的电缆不宜过长，同轴电缆传送 TTL 电平不宜超过 15m，屏蔽控制电缆传送 RS232 信号不宜超过 15m、RS422/485 信号不宜超过 150m、静态空节点信号不宜超过 50m，音频电缆传输交流 B 码信号时应控制在 1000m 以内为宜，距离较远或干扰较大的环境可以考虑采用差分电平。

参考文献：

- [1] 王海燕，李晓辉，汤佩林. 用电信息采集系统的建设与应用[J]. 电力信息化，2012(9):69-73.
- [2] 李天文. GPS 原理及应用[M]. 北京：科学出版社，2003.
- [3] 陈炯聪. IEEE1588 同步技术在电力系统中的应用[M]. 北京：中国电力出版社，2012.

作者简介：

赵宏大（1980—），男，辽宁沈阳人，高级工程师，从事电力系统通信规划工作；E-mail: kpzhd@yeah.net;

祁万春（1979—），男，江苏盐城人，高级工程师，从事电网规划工作；

杨俊义（1987—），男，江苏盐城人，工程师，从事电力系统通信规划工作。