

智能变电站光纤纵差保护装置同步方案比较

潘济猛¹, 孙永先², 申狄秋¹, 郭 乐², 丁 泉²

(1. 中国南方电网超高压输电公司柳州局, 广西 柳州 545006;

2. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003)

摘要: 针对智能变电站中电流的采集与处理分装置、分 CPU 的特点, 结合采样时刻调整法, 提出了 3 种线路光纤纵差保护装置采样同步方案: 同步源、锁相环、插值同步。就每种同步方案从适用场合、实现原理以及优缺点等方面进行了详细的分析比较。最后得出结论: 同步源方案因为对同步源装置的依赖而具有一定的使用局限性; 锁相环方案抗报文抖动性较强, 适用于采样值组网方式; 而插值同步方案适用于智能变电站中合并单元与保护装置的点对点方式。

关键词: 智能变电站; 光纤纵差保护; 同步采样; 锁相环; 插值; 点对点方式

中图分类号: TM 77

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2010)09-0101-04

1 光纤纵差保护采样同步方案

目前, 国内常用的 2 种线路光纤纵差电流同步方法——电流相量修正法和采样时刻调整法^[1]皆比较成熟。传统变电站中, 电流采集和处理都在线路保护 CPU 中完成, 两端存在相同的采样处理延迟时间(主要指 RC 滤波^[2]延迟时间)。两端采用主从方式, 从端 CPU 根据主端 CPU 系统时钟调整自己的系统时钟, 从而达到采样同步的目的(本文仅以采样时刻调整法为例)。智能变电站^[3]中, 电流采集环节在合并单元^[4]中实现, 数据处理环节在保护中完成。只要保证线路两端采样时刻与处理时刻保持相同的固定时间关系, 线路两端保护装置就可以使用传统的采样时刻调整法来实现两端数据同步。笔者在实际工作和已有工程实践经验的基础上, 提出了 3 种智能变电站线路光纤纵差同步方案, 并进行了分析比较。

智能变电站与传统变电站线路光纤纵差的主要区别是采样模块, 图 1 为光纤纵差采样示意图, 以单端智能变电站为例。图中, “延时 t_1 ” 为智能变电站采集器延时时间, 包括采集器 AC 采样 RC 滤波时间、采集器数据处理时间和采集器传输时间。“延时 t_2 ” 为智能变电站合并单元延时时间, 包括 CPU 处理时间和传输时间。“延时 t_3 ” 为传统变电站 AC 采样 RC 滤波时间。由图可见, 智能变电站的模拟量采集环节由多个装置、多个 CPU 完成, 因各自 CPU 晶振差异, 必须采用多级同步。可把同步过程分为如下 3 种情况:

a. 智能变电站线路合并单元装置同步各路采集装置数据(A 相、B 相、C 相电流等);

b. 智能变电站光纤纵差保护装置系统时钟与合并单元系统时钟的同步;

c. 两端线路保护装置的系统时钟同步。

以上情况 **a** 由合并单元完成, 情况 **c** 由传统变电站保护装置 CPU 通过上述的采样时刻调整法完成, 在以上 2 点保证的基础上, 本文主要讨论情况 **b** 相关内容。

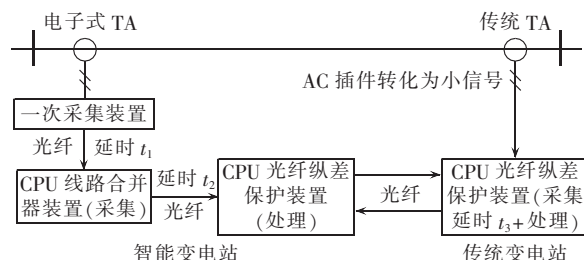


图 1 光纤纵差采样示意图

Fig.1 Sampling schemes of fiber current differential protection

2 同步源方案

同步源方案在早期的智能变电站中比较常见。如图 2 所示, 要求变电站具有同步源装置, 且合并单元以及保护装置能够接收其秒脉冲信号。图中假定合并单元采样率为每秒 4000 点, 保护装置 CPU 为每周期 24 点采样, 同步源为 GPS 秒脉冲信号^[5]。下面介绍同步源方案的主要内容。

2.1 合并单元延时时间

合并单元延时时间, 即图 1 和图 2 中所示的 $t_1 + t_2$ 时间, 此时间可以通过如下 2 种方法得出:

a. 记录保护装置 CPU 收到的同步源秒脉冲时刻为 t_{s_pulse} , 紧接着记录收到的合并单元 0 号计数器报文的时刻为 t_{m0} , 则合并单元延时时间 $t_1 + t_2 = t_{m0} - t_{s_pulse}$;

b. 由合并单元厂家提供。

2.2 同步处理

由图 2 可见, 同步秒脉冲时刻对应合并单元采集

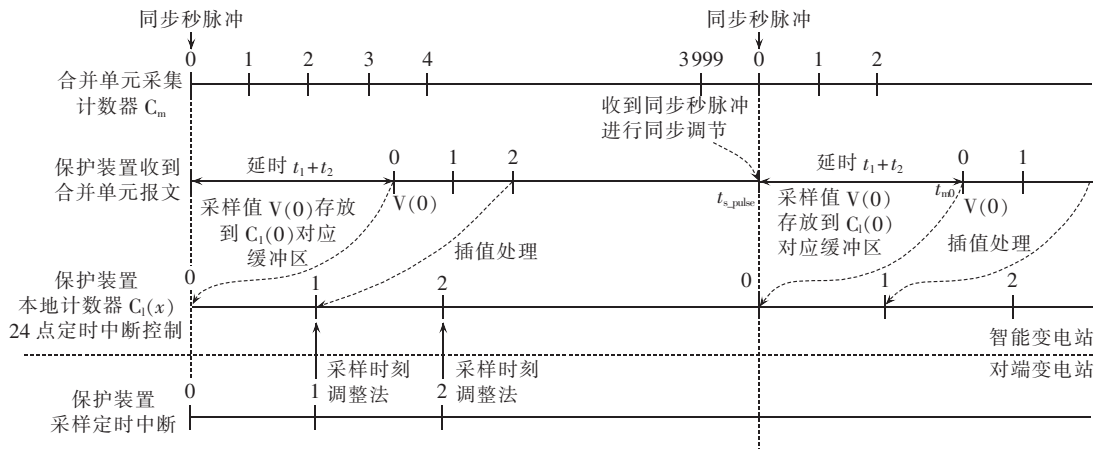


图 2 同步源方案示意图

Fig.2 Synchronizer synchronization

计数器 0 时刻,同时对应保护装置 CPU 24 点采样定时中断^[6]本地计数器 0 时刻。为了保持装置间的这种关系不受各自晶振离散性的影响,保护与合并单元需要做同步处理。本方案要求保护装置 CPU 与合并单元 CPU 都以同步信号为基准,保护装置 CPU 在收到同步信号时调整自己的 24 点定时中断,合并单元亦做相同处理,从而实现两者之间的同步。

2.3 采样数据存储

有了同步信号的保证,保护装置的系统时钟和合并单元的系统时钟已经实现了同步。但由于合并单元存在固有延时时间 t_1+t_2 ,导致采样数据延迟到达保护装置 CPU。保护装置 CPU 需要将收到报文时刻的采样值前推 t_1+t_2 进行缓冲区存放,即图 2 中所示的“采样值 $V(0)$ 存放到 $C_i(0)$ 对应缓冲区”。因合并单元为每周期 80 点采样,保护装置 CPU 为每周期 24 点采样,对保护装置 CPU 而言,一周期中其余的点通过插值算法算出。这样即可做到保护装置 CPU 存储的采样数据与实际采样时刻相一致。

2.4 采样数据处理

因保护装置 CPU 将收到合并单元报文的采样值存放到之前定时中断对应的缓冲区中,故当前定时中断对应的缓冲区中永远没有新值,保护装置 CPU 就不能对当前定时中断缓冲区的值进行处理。可通过延点处理来解决该问题,如已知 $t_1+t_2=1.5\text{ ms}$,计算出前推缓冲点数为 $2 \times (1.5\text{ ms} \times 24 / 20\text{ ms}) + 1 = 2.8$,

取整数部分。保护装置 CPU 取当前定时中断缓冲区前 2 点数据进行处理。为保证一致性,如果对端为传统变电站,要求保护装置也进行相应处理。这样即可保证光纤纵差两端数据的同步。

2.5 优、缺点

优点:简单、易实现、精度高。

缺点:对同步源装置依赖性较大,一旦同步信号异常,保护装置必须立即告警并闭锁差动保护,以防止失步产生的不正确差流导致误动。

3 锁相环方案

出于可靠性考虑,很多智能变电站提出了取消同步源装置的需求。在此情况下,光纤纵差保护装置采用锁相环^[7]算法来实现与合并单元的同步,如图 3 所示。图中假定合并单元采样率为每秒 4000 点,保护装置 CPU 为每周期 24 点采样。锁相环算法主要内容有:合并单元延时时间、同步处理、采样数据存储及处理。

3.1 合并单元延时时间

由合并单元厂家提供。

3.2 同步处理

图 3 中,假设合并单元采集计数器 0 时刻与保护装置本地计数器 0 时刻相一致,则可理论推算出合并单元报文 $cn0$ 、 $cn1$ 、 $cn2$ 等到达保护装置 CPU 的时刻为 t_{cn0} 、 t_{cn1} 、 t_{cn2} ……。但由于晶振差异,合并单元系统时钟和保护装置系统时钟会逐步偏离,造成失步。

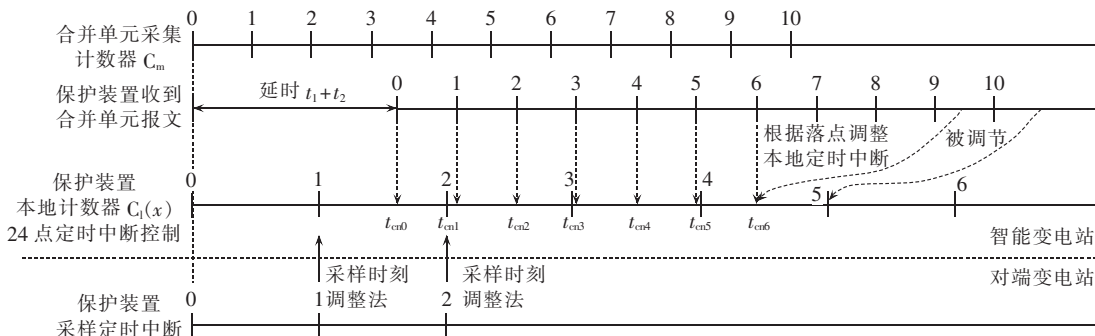


图 3 锁相环方案示意图

Fig.3 Phase-locked loop synchronization

本方案采用锁相环算法来实现保护装置系统时钟与合并单元系统时钟的同步。保护装置 CPU 监视以太网报文到来时刻,对本地采样定时中断进行相应调整。为了保证定时中断的一致性,每次只调整 1%。同时为防止以太网报文抖动大造成保护装置 CPU 频繁调整产生振荡,设定调整门槛,例如偏离幅度达到 $5\ \mu\text{s}$ 以上才进行调整。

锁相环算法为逐步跟随,在线路光纤纵差保护装置 CPU 与合并单元通信建立或恢复的初始阶段,锁相环算法并不能很快达到同步效果,即同步建立需要一定的过程。在此过程中,保护装置 CPU 必须置同步丢失标志,同时闭锁差动保护。该过程结束、已建立同步时才能开放差动保护。该过程时间与保护装置 CPU 锁相环算法刚开始工作时的合并单元报文到达时刻以及晶振特性有关。

3.3 采样数据存储

与同步源方案相同。

3.4 采样数据处理

与同步源方案相同。

3.5 优、缺点

优点:光纤纵差保护不依赖于同步源装置,减少设备投资成本和施工难度;合并单元报文每点到来时刻都进行锁相环处理,相对于同步源方案,两端采样

数据同步精度更高。

缺点:采样值组网时,合并单元以太网报文抖动较大,锁相环算法受此影响较大,合适的调整门槛以及“多级调整且每次只进行微调”可以将抖动对同步算法的效果影响降到最低;对合并单元要求较高,合并单元发送数据必须保证一定的匀速性。若离散性较大超过允许范围,线路光纤纵差保护装置 CPU 需要进行告警,并进行相应闭锁处理;需要一定的计算量,对 CPU 系统资源消耗有一定影响。

4 插值同步方案

为了提高模拟量采样系统的可靠性,《智能变电站继电保护技术规范》作了如下要求:

a. “4.6 保护应直接采样”;

b. “6.4.4 MU 采样值发送间隔离散值应小于 $10\ \mu\text{s}$ ”。

前一点要求合并单元与保护装置采用点对点连接方式,不经过交换机。后一点规定了合并单元的发送均匀度指标。有了以上 2 点保证,即使合并单元采用 IEC61850-9-2^[8] 以太网输出,也可以采用简单、实用的插值同步方案。

图 4 为插值同步方案示意图。

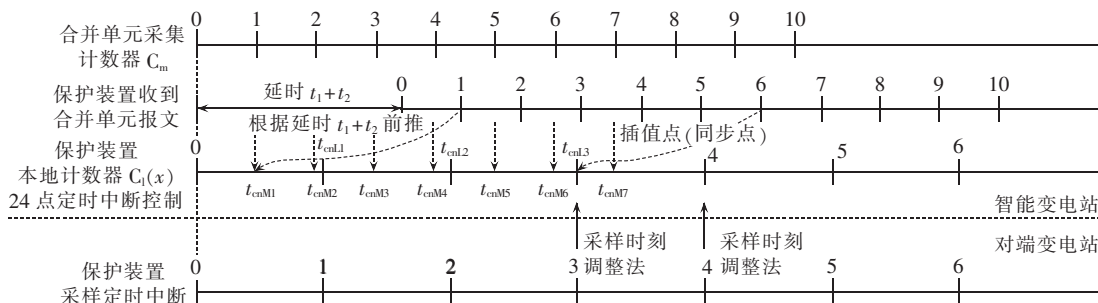


图 4 插值同步方案示意图

Fig.4 Interpolation synchronization

4.1 同步合并单元报文

由于保护装置接收的以太网报文均匀,可以从报文接收时刻结合报文中的额定延迟时间推算出合并单元的采样时刻。

4.2 同步处理

不同于前述 2 种方案,插值同步方案并不实现保护装置与合并单元系统时钟的同步,而是通过跟踪两者系统时钟,将非同步点(合并单元的系统时钟)的数据插值到同步点(保护装置的系统时钟)。插值算法可以采用线性插值算法,完全可以满足光纤纵差保护的需要。

由于两端保护装置 CPU 的系统时钟已经通过采样时刻调整法达到一致,因此,插值后数据也就实现了同步。

4.3 优、缺点

优点:不依赖于同步信号,简单、可靠;通用性强。

缺点:对合并单元的 IEC61850-9-2 报文发送间隔离散值约束较高,如果离散值较大,则算法中根据固定延时来推算的合并器采样时刻将偏离真实时刻较大,从而影响计算同步时刻的幅值。

5 结语

3 种同步方案中,同步源方案虽然实现简单,但因为依赖同步源装置而使得应用受限;锁相环方案抗合并器报文抖动性较强,适用于采样值组网方案;在《智能变电站继电保护技术规范》的约束下,插值同步方案适用于 IEC61850-9-2 以及 IEC60044-8^[9-10] 点对点方案,同时该方案中的插值算法也可应用于智能变电站的母线保护、变压器保护等跨间隔设备的同步中。

参考文献:

[1] 江苏省电力公司. 电力系统继电保护原理与实用技术[M]. 北京:

- 中国电力出版社,2006:247-248.
- [2] 伍松乐. RC 电路的应用[J]. 现代电子技术,2004,27(14):99-101.
WU Songle. Application of RC circuits[J]. Modern Electronics Technique,2004,27(14):99-101.
- [3] 李光颖. 智能变电站系统的探讨[J]. 机械制造与自动化,2002(1):47-48.
LI Guangying. Discussion on intelligent substation system[J]. Machine Building & Automation,2002(1):47-48.
- [4] 黄健,谭文恕,南贵林,等. DL/T 860.2 变电站通信网络和系统第 2 部分:术语[S]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [5] 恭庆武,刘美观,左克锋,等. GPS 同步采样装置中放置干扰 GPS 秒脉冲信号的措施[J]. 电力系统自动化,2000,24(1):45-47.
GONG Qingwu,LIU Meiguan,ZUO Kefeng,et al. Anti-jamming methods for pulse per second signal in synchronized sampling unit based on GPS[J]. Automation of Electric Power Systems,2000,24(1):45-47.
- [6] 王振花,靳引利,汪贵平. 定时中断实时数据采集 C 语言程序设计[J]. 现代电子技术,2002(2):66-67.
WANG Zhenhua,JIN Yinli,WANG Guiping. The C language program design for real time data collection[J]. Modern Electronic Technique,2002(2):66-67.
- [7] 江道灼,马进,章鑫杰. 锁相环在电力系统现场测控装置中的应用[J]. 继电器,2000,28(8):43-45.
JIANG Daozhuo,MA Jin,ZHANG Xinjie. The application of phase locked loop in the data acquisition and control apparatus of power system[J]. Relay,2000,28(8):43-45.
- [8] 马文龙,黄健,谭文恕,等. DL/T 860.92 变电站通信网络和系统第 9-2 部分(SCSM):映射到 ISO/IEC 8802-3 的采样值[S]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [9] IEC. IEC60044-8 Instrument transformers part 8 electronic current transformers[S]. [S.L.]:IEC,2001.
- [10] 高祖绵,魏朝晖,尹秋帆,等. GB/T 20840.8 互感器第八部分:电子式电流互感器[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

(编辑:柏英武)

作者简介:

潘济猛(1969-),男,广西来宾人,总工程师,高级工程师,研究方向为超高压变电站自动化系统(**E-mail**:lzpjm6895@163.com);

孙永先(1980-),男,江苏海安人,工程师,主要从事数字化变电站方面的研究(**E-mail**:syxnac@163.com);

申狄秋(1979-),男,广西桂林人,工程师,研究方向为超高压变电站自动化系统(**E-mail**:sundigger@163.com);

郭乐(1974-),男,河北饶阳人,工程师,硕士研究生,主要从事数字化变电站方面的研究(**E-mail**:guole@sac-china.com);

丁泉(1979-),男,江苏南京人,工程师,硕士研究生,主要从事数字化变电站方面的研究(**E-mail**:dingq@sac-china.com)。

Comparison of fiber current differential protection synchronization schemes for smart substation

PAN Jimeng¹,SUN Yongxian²,SHEN Diqui¹,GUO Le²,DING Quan²

(1. China Southern Power Grid EHV Transmission Company,Liuzhou 545006,China;

2. Guodian Nanjing Automation Co.,Ltd.,Nanjing 210003,China)

Abstract: As the current sampling and processing are implemented in two equipments with CPU in smart substation,three synchronization schemes based on sampling time adjustment are proposed for the fiber current differential protection;synchronous source,phase-locked loop and interpolation synch. Each is analyzed in the applicable occasions,implementation principles,advantages and disadvantages. The conclusion is that, the synchronous source has limited applications because of its dependency on synchronizer,the phase-locked loop is suitable for sampling value networking because of its immunity from network disturbance,and the interpolation is suitable for the point-to-point mode between merging unit and protection in smart substation.

Key words: smart substation; fiber current differential protection; synchronous sampling; phase-locked loop; interpolation; point-to-point mode