

DOI: 10.3969/j.issn.1006-4729.2013.04.008

智能化变电站差动保护数据的同步方法

黄琦东^{1,2}, 戴人杰², 丁 聪², 顾 洁¹

(1. 上海交通大学, 上海 200240; 2. 上海市电力公司松江供电公司, 上海 201600)

摘 要: 智能化变电站中数字式差动保护数据同步是区别于传统变电站保护的新问题. 数字化电流信息多个装置间的传输延时决定了必须重新考虑数据的多级同步. 详细阐述了改进插值法用来解决工程上二次传输延时稳定时数字式差动保护数据同步的问题. 分析了数字式线路光纤纵差和数字式主变差动保护的数据同步实现过程.

关键词: 智能化变电站; 主变差动保护; 线路光纤纵差保护; 数据同步; 插值法

中图分类号: TM76, TM63

文献标志码: A

文章编号: 1006-4729(2013)04-0338-05

Data Synchronization Methods of Differential Protection for Smart Substation

HUANG Qidong^{1,2}, DAI Renjie², DING Cong², GU Jie¹

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Shanghai Songjiang Power Supply Company, SMEPC, Shanghai 201600, China)

Abstract: Data synchronization of digital differential protection for smart substation is a new problem that is different from that of traditional protection. Data multistage synchronization should be considered because of the transmission delay among several devices. Improved interpolation method is used to solve the problem of data synchronization of digital differential protection, when secondary transmission delay is steady. The method is applied to realize data synchronization of both optical fiber longitudinal differential protection and digital differential protection of main transformer.

Key words: smart substation; differential protection of main transformer; optical fiber longitudinal differential protection; data synchronization; interpolation method

传统变电站采集的电气量为模拟量,且电磁型电流互感器和电压互感器与保护装置之间采用电缆进行数据传输. 智能化变电站有力地改变了传统变电站的建设投运模式,主要体现在过程层设备的数字化,其中的一大特征为电网运行过程中电气量信息的数字化输出. 差动保护的数据同步关系到差动保护的可靠性,若数据失步则会造

成差动保护误动的事故. 由于智能化变电站实现了主变差动保护和线路光纤纵差保护的数字化,于是产生了区别于传统变电站的情况,需要重新考虑数据同步的问题.

1 传统差动保护数据的同步

传统微机保护二次侧某时刻采样得到的电流

收稿日期: 2013-03-21

通讯作者简介: 黄琦东(1985-),男,本科,助理工程师,上海人. 主要研究方向为电力继电保护. E-mail: johnhaydon@126.com.

值就代表了同一时刻(差别极小,可以忽略)的一次侧的量值.因此,对于传统主变差动保护,其高低压侧二次模拟电流的采集是在一台微机保护装置中完成的,在同一CPU晶振控制下自然能保证高低压侧采样时刻相同.而高低压侧采样后的模拟电流再经过相等的处理延迟时间,最终得到的数据不需要经过另外的调整,本来就是同步的.

对于传统的线路光纤纵差保护,线路两端各有一台纵差保护装置,每侧的保护都是在各自晶振控制下以相同的采样率进行独立采样,两端的采样后滤波处理延迟时间可认为相等.两侧均通过光纤将本侧电流信号传输给对侧,因此存在光纤通道传输延时.要在两台装置内都实现本侧与对侧二次电流的数据同步,可以采用以下方法:通过GPS同步采样时刻方法^[1];采样时刻调整法^[2];插值法^[3]等.

本文以采样时刻调整法为例,简要说明传统线路光纤纵差保护数据同步的实现过程.采样时刻来同步的过程需要采用主从方式,即根据主端微机保护的采样时刻来调整从端微机保护的采样时刻,从而达到采样同步的目的.整个计算过程中必须要考虑光纤通道传输延时.实现了两端采样时刻同步后,即可互相交换电流数据,且要计及光纤通道传输延时,以保证数据同步.采样时刻调整法见图1.

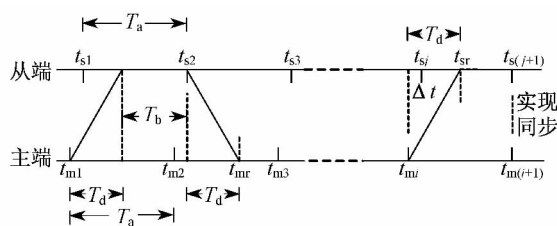


图1 采样时刻调整法示意

规定任意一端为主端,另一端为从端,两端的固有采样率相同,采样间隔为 T_a ,由晶振控制.按各自独立的时间参考,主端采样点时刻为 $t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mi}$,从端采样点时刻为 $t_{s1}, t_{s2}, \dots, t_{sj}$.在开始采样前,先计算通道延时 T_d ,主端在 t_{m1} 时刻向从端发送一帧命令信息,从端收到后将命令码和反馈延时 T_b 反馈给主端,主端在 t_{mr} 时刻接收到此反馈.由于来回的信息传送是通过同一路径,传输延时可视为相同,由此主站可计算出通道延时为:

$$T_d = \frac{t_{mr} - t_{m1} - T_b}{2}$$

然后计算主、从端采样时刻间的物理时间间隔 Δt .设主端在 t_{mi} 时刻将包括通道延时 T_d 在内的一帧信息发送给从端,从端根据收到该信息的时刻 t_{sr} 以及 T_d 就可以确定出主端 t_{mi} 时刻所对应从端的时刻,从而得出:

$$\Delta t = t_{sj} - (t_{sr} - T_d)$$

式中: t_{sj} ——与 t_{mi} 最靠近的从端采样点.

当 $\Delta t > 0$ 时,说明从端较主端超前;当 $\Delta t < 0$ 时,则说明从端较主端滞后.为了使两端同步进行采样,从端下次采样时刻应调整为:

$$t_{s(j+1)} = (t_{sj} + T_a) - \Delta t$$

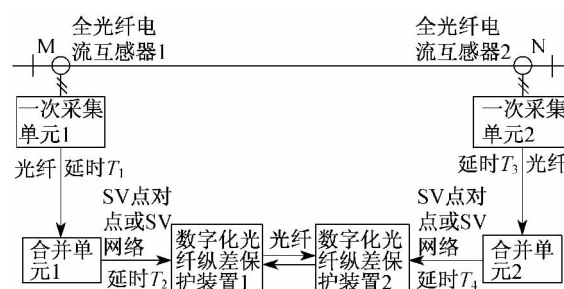
当两侧稳定同步后,即可向对侧传送采样数据.该方法保证了从端根据主端的采样时刻进行实时调整.

2 数字式差动保护数据的同步

智能化变电站可以采用电子式或电磁式电流互感器采集电流输出至合并单元MU,然后由合并单元通过光纤将电流信号传输给保护装置.合并单元除了接收处理电量数据再分配电量信号,还有一项重要的功能就是对独立采集的三相电量(A相、B相、C相电流等)的数据实现同步.

2.1 数字式差动保护采样延时

对于数字式光纤纵差保护,若在线路两端均使用电子式电流互感器(比如全光纤电流互感器),则两端电流采集环节包含的延时见图2.



注:延时 T_1 , 延时 T_3 ——一次采集单元延时时间,包括采集单元数据采集处理时间和采集单元传输时间;延时 T_2 , 延时 T_4 ——合并单元延时时间,包括处理时间和传输时间.

图2 数字化变电站线路光纤纵差保护采样延时示意

图2中延时 T_1 和 T_3 为稳定值,而延时 T_2 和 T_4 取决于合并单元与保护装置间的连接方式.智能化变电站中合并单元以SV报文的形式向保护装置输出电流信号,多采用IEC61850-9-2协议,

若在合并单元与保护装置之间采用光纤直接相连,即SV点对点,则合并单元的输出传输延时稳定,加上稳定的合并单元CPU处理时间,那么延时 T_2 和 T_4 也是稳定值。若采用光纤和交换机在合并单元与保护装置之间组建SV网络,则受网络工况的影响,传输延时可能不稳定,且变动幅度较大,那么延时 T_2 和 T_4 就不是稳定值。由图2可知,智能化变电站的电流采集环节由多个装置和处理单元完成,由于各自CPU晶振存在差异,因此必须考虑实现多级同步。与传统变电站相比,除了考虑各侧保护装置间的同步外,还需要考虑每一侧保护装置与采集单元、合并单元之间的同步。

另外,若线路两端均使用电磁式电流互感器接入合并单元的方式,则延时 T_1 和 T_3 均为零。对于数字式主变差动保护,在高压侧和低压分支1侧和低压分支2侧均使用全光纤电流互感器的情况下,电流采集环节包含的延时如图3表示。

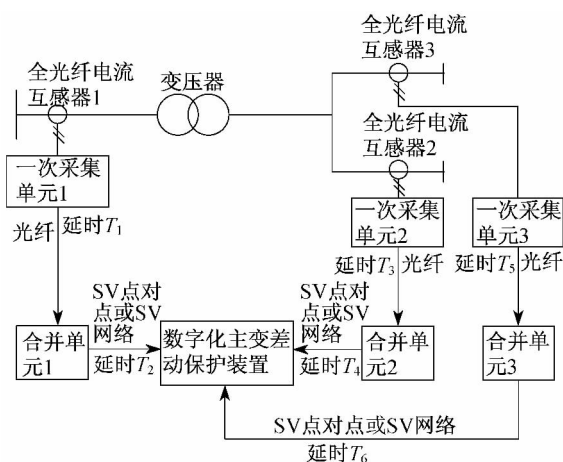


图3 数字化变电站主变差动保护采样延时示意

2.2 通过GPS同步采样时刻的方法

与传统差动保护相同,利用全球定位系统(GPS)可以为数字式差动保护系统(线路纵差和主变差动都适用)提供一个统一的高稳定的基准时钟,从而实现采样数据的同步。在工程中,GPS也早已是变电站自动化系统的标准配置,因此无论合并单元与保护装置之间是SV点对点还是SV组网的形式,这种方法都适用。

虽然该方法操作简单,易实现,精度高,但它对GPS装置的依赖性较大,一旦同步信号出现异常,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,这就降低了

可靠性。另外,使用他国控制的GPS系统可能会受国际政治、军事关系的影响,中国电力系统对差动保护使用GPS进行数据同步的方法也并不接受。

2.3 采样时刻调整法的局限性

在不依赖外部设备实现数字式差动同步方法的研究中发现,采样时刻调整法需要由保护CPU向采样电路发送不断调整的采样命令,而在智能化变电站的保护体系中,采样电路不在保护装置中而在合并单元或电子式互感器的二次转换部分(一次采集单元)按照IEC60044-8标准制造的电子式互感器及合并单元,并不具备接收从保护装置到合并单元方向的控制命令(如采样时刻调整)的接口,导致通过调整采样时刻来实现各侧数据同步的方法在数字式差动保护中不适用。

3 改进插值法数据同步的实现

在传统光纤纵差插值法数据同步基础上得到的改进插值法能很好地解决数字式线路光纤纵差数据同步的问题^[4,5],也同样可以解决数字式主变差动数据同步的问题。

在改进插值法的运用中,要对合并单元至保护装置SV点对点 and SV组网这两种情形区别分析。前者在合并单元至保护装置传输延时为稳定值的情况下,实现同步相对容易。后者由于存在不稳定的传输延时,实现同步就相对复杂,需要通过额外的技术手段实时获取二次传输延时。基于采样可靠性的考虑,国家电网规定SV传输都采用点对点的形式,所以本文阐述的改进插值法就出于二次传输延时稳定这一前提条件。

3.1 数字式线路光纤纵差保护的改进插值法数据同步

采用改进插值法实现数字式线路光纤纵差保护数据同步时,两侧不分主从,地位相同,处理机制是对等的。图4为数字式纵差保护中本侧通过改进插值法与对侧交换过来的数据实现同步的示意图。同时,对侧也用与本侧相同的方法计算得到同步采样数据,从而实现与本侧数据的同步。

图4中,电子式互感器接入光纤纵差保护中,横线为时间轴,轴上各点皆为时刻点。其中,各条时间轴相互独立,不依赖外部同步源,各自按不同

的时间参考记录时刻,没有共同的时间参考。本侧和对侧一次采集单元的采样时刻分别为 $t_{M1}, t_{M2}, t_{M3}, \dots$, 以及 $t_{N1}, t_{N2}, t_{N3}, \dots$, 两端采样为独立进行。由于采样晶振的相对稳定性,使得在长时间里采样间隔为等间隔,且两侧采样间隔时间也被视为相等(即 t_{M1} 和 t_{M2} 之间的间隔时间与 t_{N1} 和 t_{N2} 之间的间隔时间视为相等,计为 T_a)。将两侧电量从一次采集单元送到 MU 的过程中存在延时时间,该延时值为稳定的一次采集单元额定延时。此外,在合并单元 MU 输出接口采用符合 IEC61850-9-2 标准的 SV 点对点传输方式这一前提条件下,从 MU 到保护装置的延时也是稳定值,为 MU 额定延时,如图 4 所示。设本侧电量经一次采集单元额定延时 T_{pm} 到达本侧 MU,对侧电量也经一次采集单元额定延时 T_{pn} 到达对侧 MU,本侧和对侧 MU 收到采样的时刻分别为 $t_{1m1}, t_{1m2}, t_{1m3}, \dots$ 和 $t_{3n1}, t_{3n2}, t_{3n3}, \dots$; 本侧 MU 再经过自身的额定延时 T_{em} 到达本侧保护装置,对侧 MU 也再经过自身的额定延时 T_{en} 到达对侧保护装置,本侧和对侧保护装置收到采样的时刻分别为 $t_{2m1}, t_{2m2}, t_{2m3}, \dots$ 和 $t_{4n1}, t_{4n2}, t_{4n3}, \dots$ 。

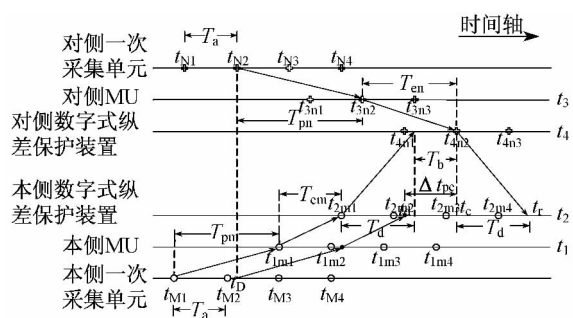


图 4 数字式线路光纤纵差保护改进插值法数据同步示意

考虑两侧二次电流量的交换和同步过程,通过纵差光纤通道在保护装置之间完成。按照插值法的处理过程,本侧保护装置在 t_{2m1} 时刻发送一帧数据报文给对侧保护装置,对侧在收到报文之后在 t_{4n2} 时刻回送一帧数据报文,该报文中包含了回送延时 T_b 和对侧 t_{4n2} 时刻采样点的二次电流值等信息,本侧保护装置在 t_r 时刻收到对侧的回送报文。由于光纤纵差通道双向延时视为相等,这一条件在工程中完全能保证,可算得本侧保护装置的通道延时为:

$$T_d = \frac{t_r - t_{2m1} - T_b}{2}$$

设本侧 t_c 时刻为 t_r 时刻超前 T_d 时间间隔的点,则本侧 t_c 时刻正是与对侧 t_{4n2} 时刻在物理时间上同时,可以说本侧 t_c 与对侧 t_{4n2} 同步。传统插值法是在本侧 t_{2m3} 与 t_{2m4} 时刻之间通过插值算法求得近似 t_c 时刻的二次电流值,作为同步采样数据,并与对侧 t_{4n2} 时刻的二次电流采样值进行差值计算求得差动电流。对于传统的线路光纤纵差保护,二次电流样点的同步即反映了对应一次电流采样点的同步,对本侧来说单个采样数据的同步过程至此完成。但对于数字式线路光纤纵差保护,还需要进一步考虑对该过程加以深化。

改进的目的是通过在二次侧保护装置内部进行同步调整,使得参加差动计算的两端二次电流样点所对应的两端一次电流采样点是同一时刻。图 4 中的对侧二次保护装置内 t_{4n2} 时刻的样点对应到一次侧为 t_{N2} 时刻采样点,两者延时间隔为 $T_{pn} + T_{en}$ 。设本侧一次侧 t_D 点与对侧一次侧 t_{N2} 点在物理时间上为同时,该 t_D 时刻虚拟采样点对应本侧二次保护装置内为 t_d 时刻的虚拟样点, t_D 与 t_d 点之间延时间隔为 $T_{pm} + T_{em}$ 。由图 4 可知 t_d 与 t_c 点之间间隔 $\Delta T_{pe} = (T_{pn} + T_{en}) - (T_{pm} + T_{em})$, 要使本侧二次电流样点所对应的一次电流点与对侧一次电流 t_{N2} 采样点同步,则在本侧二次侧保护装置内的插值点应由 t_c 点前移 ΔT_{pe} 间隔至 t_d 点。本侧保护装置在存储的本侧采样数据中找到紧邻 t_d 点前后的两个采样点,如图 4 中为 t_{2m2} 与 t_{2m3} 点,对这两点作插值后即可当作本侧同步采样数据。将调整后的最终数据与对侧 t_{4n2} 时刻的二次电流采样值进行比较,就可以求得差动电流。

由上述过程可知,本侧数据同步调整是在本侧二次保护装置中完成的。而本侧二次保护装置完成同步调整所需要的本侧和对侧一次采集单元额定延时及 MU 额定延时信息,实际都包含在传输过来的标准帧数据中。本侧 MU 输出至本侧保护装置的标准帧数据包含有本侧一次采集单元额定延时和 MU 额定延时信息。另外,对侧 MU 输出至对侧保护装置的标准帧数据包含有对侧一次采集单元额定延时和 MU 额定延时信息,对侧保护装置在 t_{4n2} 时刻点向本侧发送过来的一帧数据中也就包含了对侧一次采集单元额定延时和 MU 额定延时信息。同样地,对侧数据同步调整在对侧二次保护装置中用相同方法完成。

若线路两侧采用电磁式电流互感器接入合并

单元的方式,则 T_{pm} 和 T_{pn} 为零. 与传统插值法针对传统纵差保护一样,以上改进插值法实现数字式光纤纵差保护数据同步的方法,其特点是可实时测量并适应光纤纵差通道延时的变化,因此当通道传输时延发生变化时,不会影响同步精度,其可靠性受通道影响较小.

3.2 数字式主变差动保护的改进插值法数据同步

接入电子式互感器后,独立采集主变高压侧、低压分支1侧、低压分支2侧一次电流,并转换成二次电流至一台数字式主变差动保护,通过改进插值法实现其3侧数据同步的示意图如图5所示.图5中的差动保护装置是同一台装置, t_2 、 t_4 、 t_6 是其内部以同一时间参考的时间轴,其余各时间轴之间依然相互独立.此外,基于合并单元MU输出接口采用符合 IEC61850-9-2 标准的 SV 点对点传输方式这一前提条件,从 MU 到保护装置的延时是稳定值.

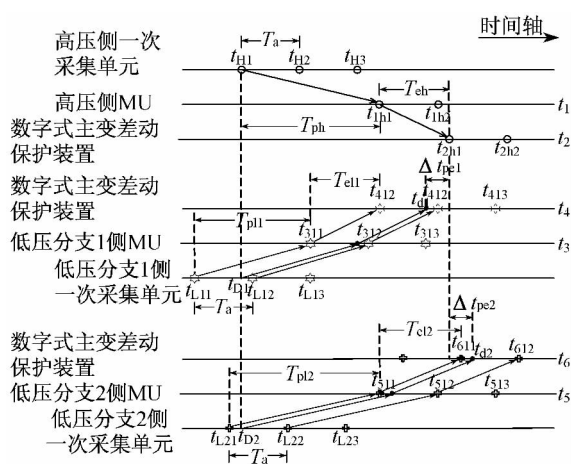


图5 数字式主变差动保护改进插值法数据同步示意

通过在二次侧保护装置内部进行同步调整,使得参加差动计算的二次电流样点所对应的3侧一次电流采样点是同一时刻.假设以高压侧电流为时间参考,对低压侧电流进行同步调整.图5中保护装置内高压侧二次电流样点为 t_{2h1} 点,对应到高压一次侧为 t_{h1} 时刻采样点,两者延时间隔为 $T_{ph} + T_{eh}$.设低压分支1一次侧 t_{d1} 点,与高压一次侧 t_{h1} 点在物理时间上为同时,该 t_{d1} 时刻虚拟采样点对应到保护装置内为 t_{d1} 时刻的虚拟样点 t_{d1} 与 t_{d1} 点之间延时间隔为 $T_{p11} + T_{e11}$.由图5可知 t_{d1} 与 t_{2h1} 时刻之间间隔为 $\Delta T_{pe1} = (T_{ph} + T_{eh}) -$

$(T_{p11} + T_{e11})$ 要使低压分支1侧二次电流样点所对应的一次电流点与高压侧一次电流 t_{h1} 采样点同步,保护装置内的低压分支1侧二次电流插值点应由 t_{2h1} 时刻前移 ΔT_{pe1} 间隔至 t_{d1} 时刻,保护装置在存储的低压分支1侧二次电流采样数据中找到紧邻 t_{d1} 点前后的两个采样点,如图5中为 t_{411} 与 t_{412} 点,对这两点作插值后即可当作低压分支1侧二次电流同步采样数据.同理,低压分支2也作相同的同步处理,图5中低压分支2的 ΔT_{pe2} 为负值 t_{d2} 时刻滞后 t_{2h1} 时刻.最终调整后的两组低压侧二次电流数据才能与 t_{2h1} 时刻高压侧二次电流采样值进行求差动电流的计算.

各侧MU输出至保护装置的标准帧数据分别包含有同步调整所需要的各侧一次采集单元额定延时和MU额定延时信息.若采用电磁式电流互感器接入合并单元的方式,则 T_{ph} , T_{p11} , T_{p12} 均为零.

4 结论

- (1) 改进插值法解决了合并单元MU输出接口采用符合 IEC61850-9-2 标准的 SV 点对点传输方式下,数字式差动保护的数据同步问题;
- (2) 可运用于数字式线路光纤纵差和数字式主变差动保护;
- (3) 灵活适用于电子式电流互感器接入合并单元MU和电磁式电流互感器接入合并单元MU的不同情况;
- (4) 保护功能不依赖于除MU和保护装置本身之外的任何其他设备.

参考文献:

- [1] 高厚磊,江世芳,贺家李. GPS 时间同步技术及其在数字电流差动保护中的应用的研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002(3): 37-42.
- [2] 高厚磊,江世芳,贺家李. 数字电流差动保护中几种采样同步方法[J]. 继电器, 1996, 20(9): 46-49.
- [3] 曹团结,尹项根,张哲,等. 通过插值实现光纤差动保护数据同步的研究[J]. 继电器, 2006, 34(18): 4-8.
- [4] 曹团结,俞拙非,吴崇昊. 电子式互感器接入的光纤差动保护数据同步方法[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(23): 65-68.
- [5] 曹团结,陈建玉,黄国方. 基于 IEC61850-9 的光纤差动保护数据同步方法[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(24): 58-60.

(编辑 白林雪)