

# 数字化变电站与传统变电站间光纤纵差保护研究

张兆云<sup>1</sup>, 刘宏君<sup>1</sup>, 张润超<sup>2</sup>

(1. 深圳南瑞科技有限公司, 广东 深圳 518057; 2. 河南省电力公司漯河供电公司, 河南 漯河 462000)

**摘要:** 在使用电子式互感器的数字化变电站和使用电磁式互感器的传统变电站之间, 实现差动保护的关键是两侧电气量的同步。提出了解决该问题的具体方法: 数字化变电站侧的保护装置实时跟踪间隔合并单元的采样频率, 传统化站的保护装置实时跟踪数字化站侧的保护装置的采样频率, 从而实现两侧电气量的同步。工程应用证明该方案完全可行。

**关键词:** 数字化变电站; 电子式互感器; 间隔合并单元; 光纤纵差保护; 同步

## Research on optical-fiber line differential protection between digitized substation and traditional substation

ZHANG Zhao-yun<sup>1</sup>, LIU Hong-jun<sup>1</sup>, ZHANG Run-chao<sup>2</sup>

(1. Shenzhen NARI Technologies Co., Ltd, Shenzhen 518057, China;

2. Luohe Power Supply Company, Electric Power of Henan, Luohe 462000, China)

**Abstract:** Electrical synchronization is the key technologies of realizing the line differential protection between digitized substation and traditional substation. This paper presents a solution that the protection device of digital stations real-timely traces merging unit(MU) sampling frequency, and the protection device of traditional stations real-timely traces the digital stations protection devices sampling frequency. Engineering applications show that the program is feasible.

**Key words:** digitized substation; electronic transformer; MU; optical-fiber line differential protection; synchronization

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)03-0058-03

## 0 引言

随着智能化电气的发展, 特别是智能开关、电子式互感器的出现, 变电站自动化技术进入了数字化的新阶段。数字化变电站彻底解决 CT 饱和问题以及二次电缆的交直流串扰问题、具有避免重复建设以及管理自动化等优势, 是变电站自动化的趋势<sup>[1-3]</sup>。但数字化变电站的建设不能一蹴而就, 建设过程中必然出现某些线路的一侧是使用电子式互感器的数字化变电站, 另一侧则是使用电磁式互感器的传统变电站。目前通常采用纵联方向保护和纵联距离保护来完成该类线路的保护。

差动保护原理简单可靠, 是理想的保护, 能否在该类线路中实现纵差保护, 从而提高该类线路保护的可靠性?

## 1 数字化变电站和传统变电站光纤纵差系统结构

数字化变电站每条线路的间隔合并单元 MU 通过和 ECT 以及电压合并单元通信获得线路保护需要的  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$ 、 $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$  以及抽取电压数据。线路保护、主变保护和母线保护通过过程层间隔交换

机与间隔合并单元按 IEC61850-9-1/2 标准通信获取上述数据<sup>[3]</sup>。本文基于 IEC61850-9-1 标准实现。

传统变电站侧的线路保护的电流电压取自电磁式互感器, 二次回路和常规站没有区别。光纤纵差保护的系统结构图如图 1 所示。

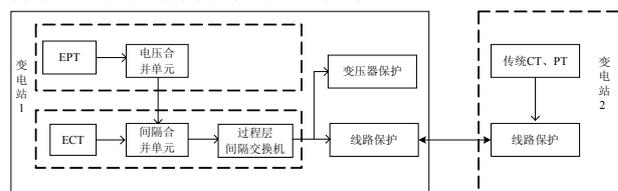


图 1 光纤纵差保护系统结构图

Fig.1 System chart of line optic-fiber protection

数字化变电站和传统变电站之间的光纤纵差保护装置的关键技术是解决两侧电气量的同步。只有两侧电气量同步才能进行差动保护计算。电气量的同步可分为三个层次:

- 1) 数字化变电站侧 ECT 和 EPT 的同步;
- 2) 数字化变电站中保护装置和间隔合并单元的同步;
- 3) 数字化变电站和传统变电站间两台保护装置之间的同步。

数字化变电站中, 全站数据采集同步信号来源于同一个时钟源, 从而保证 ECT 和 EPT 间数据完全同步。因而数字化变电站和传统变电站间的光纤纵差保护主要考虑的是第二层次和第三层次的同步。

## 2 数字化变电站保护装置和合并单元同步

电子互感器为定周期采样, 电子互感器的采样率与数据发送间隔可能相同, 也可能不同, 但前者一般是后者的整数倍, 假设电子互感器的采样周期为  $T_{ct}$ , 间隔合并单元的发送周期为  $T_{mu}$ , 一般情况下  $T_{mu}$  是  $T_{ct}$  的整数倍。目前常用的电子互感器采样率是 10 000 Hz (每周波 200 点), 那么  $T_{ct}$  为 0.1 ms; 而发送间隔以 2 000 Hz (每周波 40 点) 居多, 即  $T_{mu}$  为 0.5 ms。

保护装置的采样率和间隔合并单元的发送频率可能相同, 也可能不同。即使发送频率与保护装置相同的情况下, 发送与保护中断不一定同步; 同时间隔合并单元和保护装置的晶振误差也会造成两者之间不同步。保护装置和间隔合并单元不同步可能造成保护装置一个采样间隔中有时接收不到数据, 有时接收到两帧以上数据; 从而造成两侧电气量无法同步, 差动保护也无法实现。因而数字化变电站侧的线路保护装置必须采用适当的方法实时跟踪间隔合并单元的采样频率, 保证在一个定时中断中始终收到恒定的采样点数。在间隔合并单元和保护装置完全同步的前提下, 保护装置取当前最新采样点前  $m$  点的数据, 这样可保证保护装置采集的交流流量是正确的。

间隔合并单元和线路保护装置之间的通讯是单向的: 合并单元按照固定周期向线路保护装置发送数据, 而不接受线路保护装置的任何信息。光纤纵差同步采用的乒乓算法基于需要同步装置之间的双向通信<sup>[3]</sup>, 而不适用于数字化变电站侧间隔合并单元和保护装置之间的同步。

为简化线路保护的设计, 线路保护定时中断的频率和间隔合并单元的发送频率保持一致, 这样可保证同步之后每个采样间隔收到一帧数据。由于间隔合并单元的发送频率恒定, 因而只能通过微调保护装置的采样周期来实现合并单元和保护装置之间的同步。

假设合并单元发送数据的时间间隔是  $T_{mu}$ , 误差为  $\Delta t_d$ 。保护装置设置两个不同的定时周期, 一个周期略小于于合并单元数据发送间隔  $T_{mu}$ , 记为  $T_{rlymin}$ ; 一个略大于合并单元的数据发送间隔  $T_{mu}$ , 记为  $T_{rlymax}$ 。保护装置接收到间隔合并单元数据时记录下此时定时中断的时间, 如果此时定时中断的

时间小于  $0.5T_{mu}$ , 那么下一个定时中断采用较大的时间间隔  $T_{rlymax}$ ; 如果接收到数据时定时中断的时间计数大于  $0.5T_{mu}$ , 那么下一个定时中断采用较长的时间间隔  $T_{rlymin}$ 。

在间隔合并单元和保护装置通讯建立初期 (例如间隔合并单元上电、保护装置上电或者通信重新连接), 两者需要一段时间进行同步; 经过一段时间之后, 每一个定时中断恒定的收到一帧数据, 而且数据接收到的时刻在采样周期的一半  $0.5T_{mu}$  左右。判断间隔合并单元和保护装置同步的标准是: 连续两个周波, 每个定时中断均恒定地收到间隔合并单元发送的一帧数据而且数据接受时刻在  $0.2T_{mu}$  和  $0.8T_{mu}$  之间。

间隔合并单元和保护装置未同步之前, 需要闭锁差动保护; 待同步建立之后, 方可开放差动保护。按照该方法, 只要间隔合并单元发送数据延时的分散性误差  $\Delta t_d$  不大于  $0.6T_{mu}$  就可以完全满足同步的要求。

根据目前电子式互感器以及间隔合并单元提供的技术参数, 发送时间时延的误差不大于 0.1ms, 当  $T_{mu}$  取 0.5 ms 时 (每周波 40 帧数据), 所允许的最大误差是  $\pm 0.3$  ms。因而该方案完全可以满足现场需要。

## 3 变电站间的同步

数字化变电站与传统变电站之间的线路差动保护装置之间的同步算法采用乒乓算法进行同步。与传统线路差动保护装置区别在于, 此时数字化变电站侧的保护装置固定为参考端, 定时中断的周期不受传统侧保护装置的采样周期的影响。传统变电站侧的差动保护装置的采样间隔实时跟踪数字化变电站侧的定时中断周期。

### 3.1 基于乒乓原理的定时中断同步<sup>[3-5]</sup>

数字化变电站的线路差动保护采用基于乒乓原理的定时中断同步的采样同步调整方案, 具体过程如图 2。

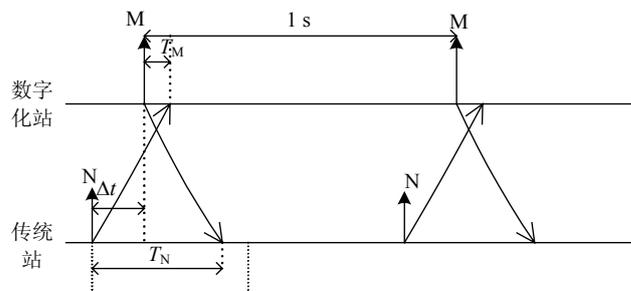


图 2 同步时差检测

Fig.2 Measure of time difference between two line differential protection units

图 2 中:  $M$  为数字化站侧保护的定时中断信号;  $N$  为传统站侧保护的定时中断信号;  $T_m$ 、 $T_n$  为本站差动保护装置收到对侧保护装置数据相对于上一次中断开始的时间;  $\Delta t = T_m - T_n$  为  $M$  站与  $N$  站的定时中断时间差。

如上文描述, 数字化站的定时中断周期始终接近间隔合并单元的发送周期  $T_{mu}$ , 不受传送站的影响。传统站的定时中断周期为间隔合并单元的数据发送周期  $T_{mu}$  加上两站之间定时中断的时间差  $\Delta t$ 。

和保护装置与间隔合并单元之间的同步类似, 在两个站保护装置光纤通讯建立初期, 需要一个同步过程。同步的标准: 连续 2 周波  $\Delta t$  不大于 0.06 ms (折合两侧电气量误差  $0.5^\circ$ )。两侧保护装置在同步过程, 需要闭锁差动保护; 只有两侧保护装置采样同步之后, 方可开放保护。

### 3.2 交流量同步

通过乒乓算法, 完成了两个站之间定时中断的同步。两侧都是传统站时, 由于两侧的电流互感器特性基本一致且保护装置滤波回路完全相同, 此时每个定时中断采集一个数据并将当前数据发往对侧即可进行保护计算。由于数字化变电站侧无滤波回路但存在通道延时, 传统变电站侧保护有滤波回路但无通道延时, 因而需要对交流量进行准确同步。

按照 IEC61850-9-1 中组成的数据帧中, 间隔合并单元需要将当前电子互感器的“额定时间”参数发送给保护装置, 保护装置可以从报文中读取进行使用。假设数字化变电站的额定时间是  $T_{d1}$ 。传统变电站侧由于 RC 滤波回路的存在, 经过滤波前后的电气量也存在一定的角度差, 可以通过角度折算为时延  $T_{d2}$ 。

按照 IEC61850-5 中 13.6.1 的定义, 间隔合并单元和保护装置之间的通信属于 P3 类, 要求传输时延不大于 3 ms, 因而  $T_{d1}$  不大于 3 ms。而滤波回路的相移可以实测得到, 通过实测的相移可以折算出时延  $T_{d2}$ , 一般情况下, 该值也不大于 3 ms。

为了使两侧交流量同步, 传统侧固定的选取  $n$  个点以前的数据, 定时中断周期无限接近间隔合并单元的发送时间  $T_{mu}$ , 从而使传统侧的数据延时增加  $nT_{mu}$ 。

通过数字化变电站侧采样值的选取来实现两侧电气量的同步。电子互感器的采样频率固定为  $T_{ct}$ , 那么数字化变电站固定取  $m$  点前的数据, 即可以实现两侧电气量之间的同步, 其中  $m$  的计算如下:

$$m = \frac{(nT_{mu} + T_{d2} - T_{d1})}{T_{ct}}$$

此种同步方式, 两侧同步后, 理论上存在的最大

大相位差  $\delta = 9T_{ct}(\circ)$ 。目前常用的间隔合并单元的采样率是 10 000 Hz, 因而  $T_{ct}$  为 0.1 ms, 那么理论上两侧最大误差为  $0.9^\circ$ 。基于同步形成的角差对差动保护影响小, 可以不用考虑其对差动的影响。

在数字化变电站建设初期, 部分电子式互感器及其间隔合并单元未提供额定时间这个参数, 因而保护装置需要开放一个  $m$  值的预设窗口, 当电子互感器及其间隔合并单元提供了额定时间参数时, 根据“额定时间”参数直接计算  $m$  值; 如果电子式互感器及其间隔合并单元不提供“额定时间”参数, 则直接使用预设值。

## 4 结语

按照本文同步方法开发的 PRS-753AO 光纤纵差成套保护装置已经在现场正式投入运行。通过试验验证, 在系统一次侧输入同一个电流的情况下, 两侧电流的最大角度差不大于  $2^\circ$ , 完全能够满足线路差动保护的要求。同时从通信开始建立, 两站保护装置电气量同步时间不大于 100 ms, 进一步保证了保护的速动性。

为推动数字化变电站系统的应用和发展, 传统变电站和数字化变电站之间线路的保护是一个必须要解决的问题, 本文对光纤纵差保护的分析只是一个范例, 希望能对继电保护工程师们有所启发。

## 参考文献

[1] 孙一民, 李延新, 黎强. 分阶段实现数字化变电站系统的工程方案[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(5): 94-97.  
SUN Yi-min, LI Yan-xin, LI Qiang. A Grading Solution for Build Digital Substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(5): 94-97.

[2] 殷志良, 刘万顺, 杨奇逊. 一种遵循 IEC 61850 标准的合并单元同步的实现新方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(11): 61-65.  
YIN Zhi-liang, LIU Wan-shun, YANG Qi-xun. New Method for Implementing the Synchronization of Merging Unit According to the IEC61850 Standard[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(11): 61-65.

[3] 刘宏君, 孙一民, 李延新. 数字化变电站光纤纵差保护性能分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(17): 72-74.  
LIU Hong-jun, SUN Yi-min, LI Yan-xin. Performance Analysis and Research on Line Differential Protection in Digitized Substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(17): 72-74.

(下转第 66 页 continued on page 66)

- WANG Lei, PAN Jin, JIAO Li-cheng, et al. The Immune Algorithm[J]. ACTA Electronic Sinica, 2000, 28 (7): 74-78(in Chinese).
- [17] Endoh S, Toma N, Yamada K. Immune Algorithm for n-TSP[A]. in: 1998 IEEE Internal Conference on Systems, Man, and Cybernetics[C]. 1998. 3844-3849.
- [18] 钟红梅, 任震, 张勇军, 等. 免疫算法及其在电力系统无功优化中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(3): 16-19.  
ZHONG Hong-mei, REN Zhen, ZHANG Yong-jun, et al. Immune Algorithm and Its Application in Power System Reactive Power Optimization[J]. Power System Technology, 2004, 28(3): 16-19(in Chinese).
- [19] 殷桂梁, 肖丽萍, 吴长奇, 等. 免疫原理用于异步电动机故障诊断的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (6): 132-136.  
YIN Gui-liang, XIAO Li-ping, WU Chang-qi, et al. Squirrel-cage Motors Fault Diagnosis Using Immunology Principles[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (6): 132-136.
- [20] 谢开贵, 周家启, 等. 基于免疫算法的配电网开关优化配置模型[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (15): 35-39.  
XIE Kai-gui, ZHOU Jia-qi, et al. Model for Optimal Switching Devices Based on Immune Algorithm in Electric Distribution Networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (15): 35-39(in Chinese).
- [21] 黄弦超, 舒隽, 张粒子, 等. 免疫禁忌混合智能优化算法在配电网检修优化中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24 (11): 96-100.  
HUANG Xian-chao, SHU Jun, ZHANG Li-zi, et al. Distribution Maintenance Scheduling Using an Intelligent Opt Approach Mixed Immune Algorithm and Tabu Search [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (11): 96-100(in Chinese).
- [22] 刘科研, 盛万兴, 李运华, 等. 基于改进免疫遗传算法的无功优化[J]. 电网技术, 2007, 31(13): 11-16.  
LIU Ke-yan, SHENG Wan-xing, LI Yun-hua, et al. Reactive Power Optimization based on Improved Immunity Genetic Algorithm[J]. Power System Technology, 2007, 31 (13): 11-16(in Chinese).
- [23] 熊虎岗, 程浩忠, 胡泽春, 等. 基于混沌免疫混合算法的多目标无功优化[J]. 电网技术, 2007, 31 (11): 33-37.  
XIONG Hu-gang, CHENG Hao-zhong, HU Ze-chun, et al. A Hybrid Algorithm based on Chaos Optimization Algorithm and Immune Algorithm for Multi-objective Optimal Reactive Power Flow[J]. Power System Technology, 2007, 31(11): 33-37(in Chinese).

收稿日期: 2009-03-02; 修回日期: 2009-06-18

作者简介:

李晓辉 (1973-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统规划和电能质量管理技术的研究;

罗敏 (1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定等;

刘丽霞 (1981-), 女, 硕士, 工程师, 从事电力系统规划和电力系统计算工作。E-mail: liulixia0808@163.com

(上接第 60 页 continued from page 60)

- [4] 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案[J]. 电力系统自动化, 1996, 20 (9): 46-49, 53.  
GAO Hou-lei, JIANG Shi-fang, HE Jia-li. Sampling Synchronization Methods in Digital Current Differential Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20(9): 46-49, 53.
- [5] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术(第 3 版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.  
ZHU Sheng-shi. Principles and Technology of Relay

Protection in HV Power System, 3rd ed[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

收稿日期: 2009-02-25; 修回日期: 2009-03-26

作者简介:

张兆云 (1977-), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事电力系统继电保护和数字化变电站的研究; E-mail: zhangzhaoyun@sina.com

刘宏君 (1974-), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事电力系统继电保护和数字化变电站的研究;

张润超 (1970-), 男, 高级工程师, 从事电力系统继电保护和运动技术的研究。