

# A Simplified Currents Scheme for Improved Differential Protection in Smart Substations

Yanjie Zhang<sup>1</sup>, Xiaoxiao Zhao<sup>1</sup>, Hong Zhang<sup>1</sup>, Zongxi Xie<sup>2</sup>, Boxi Zhou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Grid Technology College, Ji'nan Shandong

<sup>2</sup>Xianning Power Supply Company of Hubei, Xianning Hubei

Email: sduzyj@163.com

Received: Jan. 15<sup>th</sup>, 2017; accepted: Feb. 12<sup>th</sup>, 2017; published: Feb. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

This paper presents a time delay evaluation method based on electronic transformer independent sampling. A time delay reduction method is proposed to decrease the time lag of the current data in the line longitudinal differential protection. It is in use of extended port of current merging unit and transmits the simplified current data to the other side of transmission line protection device directly. The analysis and test results show that the proposed method could reduce the time delay in 220 kV line longitudinal differential protections from 2 milliseconds to 3 milliseconds.

## Keywords

Smart Substation, Merging Unit, Line Longitudinal Differential Protection, Electronic Transformer

---

# 一种智能站精简电流纵差保护改进方法

张艳杰<sup>1</sup>, 赵笑笑<sup>1</sup>, 张红<sup>1</sup>, 谢宗喜<sup>2</sup>, 周博曦<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国网技术学院, 山东 济南

<sup>2</sup>国网湖北省咸宁供电公司, 湖北 咸宁

Email: sduzyj@163.com

收稿日期: 2017年1月15日; 录用日期: 2017年2月12日; 发布日期: 2017年2月15日

---

## 摘要

基于电子式互感器独立采样环节, 建立电子式互感器至合并单元延时模型, 提出一种改进的智能变电站线路纵联差动保护方法, 建立合并单元精简电流数据扩展出口, 不经本端保护装置直接远传三相电流数据至对端保护装置以降低电流数据处理延时。分析及实验证明, 该方式可降低220 kV智能变电站纵联差

动保护数据延迟2~3 ms。

## 关键词

智能变电站, 合并单元, 线路纵联差动保护, 电子式互感器

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在智能变电站中, 合并单元装置能够汇集多通道的电压/电流信号或数据, 经过同步处理, 按照 IEC61850 的标准格式输送给过程层总线或直接发送给保护测控装置。合并单元接收电压电流的方式通常有两种: 一种是接收电子式互感器已采集好的数字量信息, 另一种是接入常规互感器二次电缆的模拟信号, 在合并单元中进行采集处理。合并单元装置需要完成数据的采集接收、数据同步、组帧通信等功能, 保护装置还需通过数据通信方式对接收的 SV 采样值报文并进行解码。分散式采集器、数据同步、数据通信等硬软件环节使得继电保护装置动作存在一定的延时[1] [2]。对 220 kV 以下的非枢纽变电站, 合并单元延时对电网稳定性影响不明显, 然而在 330 kV 以上的线路, 延时会导致保护装置滞后动作, 存在系统稳定性隐患[3]。为减小合并单元延时对电网稳定性影响, 在 330 kV 以上线路纵联差动保护常采用取消合并单元的方式, 致使数字化变电站数据共享效率降低, 不利于智能变电站的标准化建设。本文提出了一种线路电流纵联差动保护方案, 采用线路合并单元将同步电流数据直接输送给对端线路保护进行逻辑运算的方式, 避免了等待电压数据延时以及与本端保护装置通信的延时, 可降低继电保护装置动作延时 2~5 ms。

## 2. 间隔合并单元的同步处理

数字化变电站中, 合并单元、继电保护装置都接入全站的统一时钟源, 设备对时跟踪误差在 1  $\mu$ s 以内, 采用“常规互感器 + 合并单元”模式时, CT 与 PT 二次回路以二次电缆接至合并单元中, 实质是将采集器从常规保护装置中分离出来, 模拟信号以光速传导至合并单元, 经低通滤波后集中 A/D 采集, 可认为同步过程与常规保护相同。当采用“电子式互感器 + 合并单元”模式时, 各相采集器独立, 从合并单元架设额外的触发采集脉冲光纤通道, 可以将各相数据在同一时间断面采集, 这种方式多用于罗氏线圈和低功率线圈的模拟信号采集场合, 增加了系统构建成本且依赖同步时钟源。目前现场合并单元对于电子式互感器的数据同步多依据各通道的“额定延时”来处理: 将 ECT/EVT 各通道信号 A/D 采集时刻至合并单元同步时刻的延时计算或测量出来, 再将所有通道数据置于同一时间坐标系下进行数据延时反推补偿和插值重采样[1] [4]。各电子式互感器至合并单元间常采用 FT3 规约, 以 Manchester 编码形式发送串行数据, 数据传输不受以太网 CSMA/CD 协议数据冲撞影响而延时固定。如图 1(a)所示, 各通道至合并单元的固定延时为  $T_{di}$  ( $i=1,2,\dots,12$ ), 在合并单元中将采样数据解码校验后存入 FIFO 缓冲器进行时间标定, 以第  $i$  个通道为例, 依据采样点  $t_m$  时刻获取数据可推算出采样时间为  $t_m - T_{di}$ , 如图 1(b)所示。合并单元在进行数据采样同步时, 需等待 FIFO 中所有通道数据到达后, 在下一个分频脉冲到来时进行插值重采样。

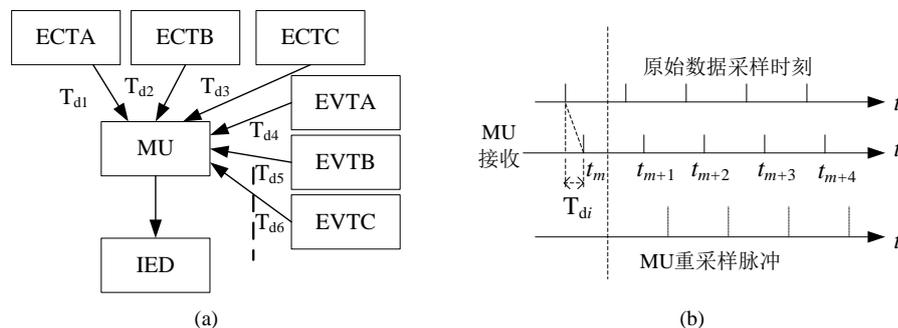


Figure 1. (a) Time delay from ECT/EVT to MU; (b) Diagram for MU resampling  
 图 1. (a) 电子式互感器至合并单元延时示意图; (b) 合并单元重采样示意图

设合并单元采样周期为  $T_s$  (通常取 250 us), 合并单元插值计算及编码发送时间为  $T_j$  (一般  $T_j < 50$  us), 按照最严峻情况, 获取并发送第一个采样点的数据延时为

$$T_m = \max T_{di} (i = 1, 2, \dots, 12) + T_s + T_j, \quad (1)$$

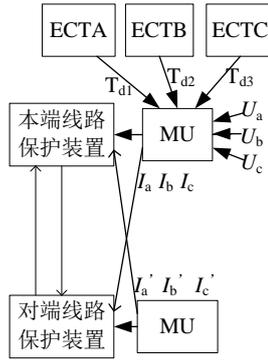
(1)式中第一项为整组数据中所有通道中最大通道延时。在 220 kV 以下变电站, 母线电压合并单元通常级联到间隔合并单元, 由于电压合并单元中需进行抗混叠数字滤波、重采样、数据编码、数据发送、数据传输等环节, 而间隔 MU 需等待电压数据解码校验并到达缓冲区后再进行整体同步, 在间隔合并单元中引起更大延时。在纵联电流分相差动主保护中, 一般不需将电压数据作为保护判据, 在本方案中设置合并单元扩展同步模块, 对于远传数据, 只同步 3 相保护电流信号, 同步后 3 相电流数据直接组帧发送至对端保护装置进行快速差动主保护逻辑运算。可将 12 通道采集延时缩小至 3 通道延时

$$T_m = \max T_{di} (i = 1, 2, 3) + T_s + T_j \quad (2)$$

合并单元打包输出两组数据, 一组数据以正常的三相电压、电流等完备多通道同步数据传输至间隔本端线路保护, 另一组数据是基于精简数据集的 SAV 报文, 只含三相电流数据, 通过远距离光纤通信发送至对端保护, 图 2 中为本端数据发送至对端纵差保护的示意图。该方案去除了电流数据等待电压数据与其他数据的延时, 同时省略本端保护装置的数据处理延时, 有效降低了本端三相电流数据传送到对端纵联差动线路保护装置的时间。

### 3. 合并单元与保护装置的同步

扩展通用合并单元接口借助于 FPGA 的 I/O 口实现扩展发送, 合并单元扩展口输出 IEC61850 9-2 标准数据, 经光端机进行 PCM 码元转换, 再由单模光纤发送至对端线路保护装置。站内合并单元配置高稳晶振, 接 GPS 同步时钟, 通过 IRIG/B 码方式为合并单元提供同步秒脉冲。当各相电流电压采集时刻可控时, 合并单元不需插值重采样, 互感器至合并单元延时可忽略, 按标准 4000 Hz 的采样频率触发采集。由于保护周期逻辑运算只需每周波 24 点的采样率(1200 Hz), 合并单元以 1200 Hz 分频脉冲对采样值进行插值重采样, 每个秒翻转时刻采样的起始计数值至最终值为 0-1199, 保护装置可将远方与就地合并单元采样值序号一致的 SV 采样点比较运算。在失去 GPS 同步时钟状态下, 各端保护装置将按固定延时进行重采样同步后再进行逻辑运算。为了保证延时固定和可靠性, 合并单元由多模光纤专线点对点传至光端机, 转换成单模光纤远程通信送至对端保护装置。由于保护数据不经过交换机, 通信线路距离固定, 数字光纤通信稳定, 远方合并单元至本站保护装置间通信延时固定。对端保护装置依据站内三相电流延时, 及本侧传送的三相电流进行反推计算, 反推时间由较大延时侧决定, 可在保护内部实现新的同步插值采样。



**Figure 2.** Scheme of improvement method for the longitudinal differential protection in smart substation  
**图 2.** 智能站纵联差动保护改进方法单端示意图

#### 4. 双端保护装置间的同步

线路双端数字化保护装置间同步实质是，各端保护装置在进行逻辑计算时所采用的两端电气量采集发生在同一时刻。在应用常规互感器或脉冲同步法采集的电子式互感器时，纵联保护电气量采集时刻直接可控，通过乒乓算法[5] [6] [7]直接调整电流数据采集时刻。电子式互感器若不受合并单元或保护控制而独立采集，保护装置将依据延时被动调整同步策略。本方案中，线路两端保护装置间同步演变成各保护装置与本侧及对侧变电站间隔合并单元的数据同步。在合并单元装置基于 GPS 高精度对时状况下，由秒脉冲分频对电流数据执行重采样。秒脉冲翻转时刻开始对采样数据进行插值计算并由序号 0 开始编号，由于互感器额定延时不可忽略，在保护装置中不能对采样序号一致的数据直接比较，而要将各路数据倒推一个互感器额定延时，通过保护装置内部重采样插值同步，提取各路数据后进行逻辑运算，如图 3 所示。

站间保护装置间的数据采样同步基于专用通道进行，如图 4 所示，1 和 2 坐标轴分别是对侧与本侧 MU 的数据通道延时示意图， $T_r$  与  $T_l$  分别代表对侧与本侧合并单元三相电流到达本侧保护装置的延时。根据先到数据等待后到数据的原则，本侧保护装置的插值延时为  $T_{p1} = \max(T_r, T_l) + T_s$ ，本公式同样适用于对侧保护延时  $T_{p2}$ 。

将两侧保护装置设置为参考侧和同步侧，同步方法如下(如图 5 所示)：

1) 参考侧首先任选一时刻  $t_{s1}$  发送测通道延时指令，同步侧接收到指令后反馈发送给参考端，由于两个方向信息传送沿同一路径，可认为通道延时相同，参考侧在  $t_{s2}$  时刻接收到回应报文，通道延时为

$$t_d = (t_{s2} - t_{s1} - t_m) / 2 \tag{3}$$

其中  $t_m$  为同步侧收发延时。

2) 参考侧在下一个采样时刻发送本侧保护插值延时  $T_{p1}$  至对侧保护，对侧保护在  $t_r$  时刻接收并推算本装置时间轴下的采样时刻偏差

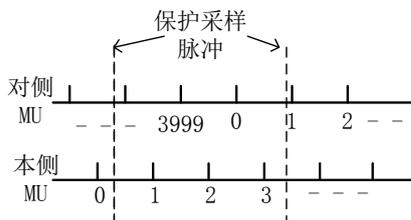
$$\Delta t = (t_r - t_d - T_{p1}) - (t_{mj} - T_{p2})$$

式中  $t_{mj}$  为同步侧与  $t_r - t_d$  时刻最接近的采样点。

同步端下一时刻的采样

$$t_{mj+1} = t_{mj} + Ts + \Delta t / 2n \tag{4}$$

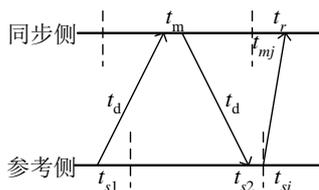
其中， $2n$  为稳定调节系数。同步稳定后，线路两端保护分别以 1200 Hz 的采样频率进行数据重采样插值运算，提取出各相电流数据执行逻辑运算。



**Figure 3.** The protection device resampling  
**图 3.** 保护装置重采样



**Figure 4.** Time delay comparison for the local side MU and remote side MU in data processing and transmission  
**图 4.** 对侧 MU 与本侧 MU 处理及传输延时



**Figure 5.** Synchronization process between the two protection devices in the transmission line  
**图 5.** 双侧保护装置间同步原理图

**Table 1.** Time delay recording  
**表 1.** 延时记录表

序号	1	2	3	4	5	6	7
延时(ms)	2.2	2.2	2.7	2.5	2.3	2.4	2.2

## 5. 模拟实验比对

依托智能变电站混合仿真试验系统，以某厂家双套 220 kV 数字化线路保护装置为参考，采用级联合并单元模式，每套线路合并单元装置定制 FPGA 扩展接口板，只取保护三相电流提前组帧输出，取合并单元主板 DSP 分频脉冲作为重采样及发送驱动信号，重采样均采用二次 Lagrange 插值[8]，架设单独光纤通道经由保护复接口柜发送至对端保护，将提前组帧端口接入过程层交换机并单独配置故障录波通道。合并单元扩展接口发送每一帧数据时，将采样计数器与原采样模块数据计数器做差值，记录进数据集。设置 A 相单相接地永久性故障，依据故障录波中“采样序号差”判别电流数据时间差。设置 7 组单相永久故障下，扩展通道电流超前组合电压电流时间延时记录如表 1 所示。

将合并单元切换成电压电流一体化采集的非级联模式，即线路合并单元直接接入电压互感器模拟信号，扩展通道电流超前组合电压电流时间为 0.2~0.6 ms。两种情况下，保护装置及重合闸均能及时动作。

## 6. 结论

- 1) 由实验可见，在电压电流合并单元级联的场合，电压合并单元的处理延时会影响保护装置的快速

动作, 通过直传对侧保护电流的方式, 可使线路纵联差动保护的延时有效降低 2~3 ms。

2) 对于电压合并单元与电流合并单元非级联模式, 延时在 1 ms 以内, 因此对于 330 kV 以上智能变电站, 可尽量采用合并单元非级联方式, 以降低合并单元处理及等待延时。有关插值算法对系统延时的影响还有待研究。

### 参考文献 (References)

- [1] 徐文佳, 赵伟, 肖勇. 数字化变电站中实现电压电流同步的合并单元[J]. 电测与仪表, 2015, 52(1): 2-7.
- [2] 袁宇波, 卜强生, 高磊. 智能变电站数字采样延时特性分析与试验[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(24): 77-80.
- [3] 牛雪媛, 翟建帆, 李春林. 合并单元不同步引起的智能变电站事故分析[J]. 电工技术, 2015(2): 38-39.
- [4] 黄灿, 肖驰夫, 方毅. 智能变电站中采样值传输延时的处理[J]. 电网技术, 2011, 35(1): 5-10.
- [5] 张兆云, 刘宏君. 数字化变电站光纤差动保护同步新方法[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(22): 90-92.
- [6] 王洪帅, 徐青山, 袁宇波. 智能变电站非对称式光纤差动保护同步性测试方法[J]. 电力系统自动化, 2010, 35(18): 77-80.
- [7] 李文正, 李宝伟, 倪传坤. 智能变电站光线差动保护同步方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(16): 136-140.
- [8] 丁泉, 李帅. 智能变电站重采样应用研究及其线性插值法误差分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(23): 132-135.

#### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [aepe@hanspub.org](mailto:aepe@hanspub.org)