

# 基于电压向量的数字化母线保护电流同步方法

占捷文, 刘宏君, 潘军军, 吴文举

(长园深瑞继保自动化有限公司, 广东 深圳 518057)

**摘要:** 采样数据同步是智能变电站继电保护的关键问题。当采样数据通过过程层网络传输时, 保护装置依赖于时钟源同步。提出了一种基于电压向量的数字化母线保护电流同步方案, 在原有同步方案失效并导致合并单元采样失步的情况下, 通过电压向量的相位差对采样数据进行同步处理, 仍可保证母线保护继续投入运行。分析了同步方案的原理, 介绍了同步方案的系统接线, 给出了实施方案的细节: 通过正序电压计算间隔采样的时间差; 通过抛物线二次插值方法对采样数据进行同步处理; 发生三相 PT 断线时需退出同步方案。RTDS 数模实验结果表明同步方案可保证各种工况下母线差动保护功能的正确性, 证明了同步方案的有效性和可行性。

**关键词:** 智能变电站; 母线保护; 差动保护; 采样同步; 电压向量; 插值

## Sampling synchronization method based on voltage vector for busbar differential protection

ZHAN Jie-wen, LIU Hong-jun, PAN Jun-jun, WU Wen-ju

(CYG SUNRI CO., LTD., Shenzhen 518057, China)

**Abstract:** In smart substation, synchronized sampling is the key issues for the relay protection. Protection device depends on the synchronization of external clock source, when sampling data is transmitted via Ethernet for process level. Sampling synchronization method based on voltage vector (SSMBVV) for busbar differential protection is proposed. When the original synchronization method loses effectiveness and the sampling of merging unit (MU) is out of step, sampling data can be synchronized through the phase difference of voltage vector, which can make busbar differential protection keep on working. The synchronization principle is analyzed, the system wiring diagram is introduced, and the implementation details for SSMBVV are given i.e. calculating the time difference between each MU sampling through the positive sequence voltage; synchronizing the sampling data using quadratic interpolation; synchronization process should be quitted when three-phase PT break is happening. The effectiveness and feasibility of the synchronization method are verified by results of RTDS simulation.

**Key words:** smart substation; busbar protection; differential protection; sample synchronization; voltage vector; interpolation

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)20-0129-06

## 0 引言

在智能化变电站中, 实时电气量由分散的独立装置采集, 采样时刻难以统一, 同时数据报文在网络上传输会受网络数据流量、突发性数据等因素的影响, 致使报文传输延时不确定, 这就导致继电保护面临采样数据同步的问题<sup>[1-4]</sup>。尤其对于母线差动保护, 需要采集多间隔的电流, 在算法上要求参与差流计算的各间隔电流必须同步采样或经过采样数据同步处理, 这是实现数字化母线差动保护的一个关键问题。

目前在过程层采用组网方式<sup>[5]</sup>的智能变电站中, 采样同步的解决方案主要有两种: 全站统一时钟源方式<sup>[6-7]</sup> (如 GPS) 和基于 IEEE1588 的网络对时<sup>[8-9]</sup>。这两种同步方式均存在一些问题: 全站统一时钟源方式需要在全站配置统一的时钟源, 合并单元的采样时刻严格受外部时钟信号的控制<sup>[10]</sup>; 基于 IEEE1588 的网络同步方案, 则要求合并单元和交换机均需支持 1588 功能<sup>[11-12]</sup>。两种方式都严重依赖于外接设备的稳定性, 当时钟源丢失或 IEEE1588 的网络同步失效导致采样数据失步时, 需采样同步的保护装置 (如母线差动保护、变压器差动保护) 均需退出保护。

本文提供了一种网采模式下基于电压向量的数

数字化母线保护电流同步方法,与现有技术相比,本方法通过电压向量的相位差对各采集单元的采样数据进行同步处理,原理简单易实现,不需增加外接设备,不需改变网络结构,可在已有同步方案失效的情况下快速投入,母线保护不需因采样数据失步而退出,从而提高母线保护的可靠性,保障电网安全。

## 1 基于电压向量的电流同步方案

在网采模式下,母线保护是根据间隔合并单元(MU)上送的采样数据 IEC61850-9-2 报文<sup>[13]</sup>(SV 报文)中的采样计数器(Sample Count)进行数据同步处理,这不受具体的间隔数量、物理距离、网络结构等因素的影响。当时钟源正常或网络同步时,现有同步方案(全站统一时钟源或基于 IEEE1588 的网络同步)可保证间隔合并单元同步采样,拥有相同采样序号的 SV 数据意味着这是各 MU 在同一采样时刻采集的数据;当时钟源丢失或 IEEE1588 网络同步失效,导致采样数据失步时(根据 SV 报文中的同步标志(Sample Sync)来判断),母线保护需将各 MU 上送的采样数据作进一步的同步处理后才能用于保护计算。

要对失步的数据进行同步处理,其前提是要知道不同间隔之间的采样时刻差值,这会体现在 SV 报文中采样通道波形形成的角差(相位差)。如果合并单元同时采集间隔电流及母线电压,并在同一报文中上送,两者的采样数据必定是保持同步的;而各间隔采集的母线电压的数据源是同一个,其相位及幅值必然是一致的。因此母线保护装置从各 MU 上送的 SV 报文中,选取相同采样序号的母线电压通道的采样点数据,计算出各电压向量的相位差,这就是不同间隔之间因失步导致的 SV 数据采样时间差,根据此相位差运用数据插值算法可将各间隔的电流数据折算到同一采样时刻,从而保证差流计算的正确性。

## 2 同步原理分析

假设采样同步时,各间隔采集装置在同一时刻采集的电流、电压向量的角度分别为  $\varphi_{li}$ 、 $\varphi_{vi}$ ,其中  $i$  为间隔采集装置序号( $1 \leq i \leq n$ ,  $n$  为包括母联在内的间隔总数);采样失步时,电流、电压向量因采样失步产生的相位差分别为  $\Delta\varphi_{li}$ 、 $\Delta\varphi_{vi}$ ,因单个间隔采集装置集中采集对应的间隔电流及母线电压,两者的采样数据必定是保持同步,即因采样失步产生的相位差相同  $\Delta\varphi_{li} = \Delta\varphi_{vi} = \Delta\varphi_i$ ,则此时实

际采集到的电流、电压向量为

$$\dot{\varphi}_{li} = \varphi_{li} + \Delta\varphi_{li} = \varphi_{li} + \Delta\varphi_i \quad (1)$$

$$\dot{\varphi}_{vi} = \varphi_{vi} + \Delta\varphi_{vi} = \varphi_{vi} + \Delta\varphi_i \quad (2)$$

因各间隔采集装置采集的电压均为来自同一数据源——母线电压,所以其相位必然一致:

$$\varphi_{v1} = \dots = \varphi_{vi} = \dots = \varphi_{vn} \quad (3)$$

以序号为  $t$  的间隔采集装置为基准( $1 \leq t \leq n$ ),其他间隔采集装置采集到的电压向量相对于基准的相位差为  $\Delta\varphi'_{i-t}$ ,根据式(2)、式(3)可得

$$\Delta\varphi'_{i-t} = \dot{\varphi}_{vi} - \dot{\varphi}_{vt} = \Delta\varphi_i - \Delta\varphi_t \quad (4)$$

若对各间隔采集装置采集到的电流按本间隔相对于基准间隔的相位差  $\Delta\varphi'_{i-t}$  进行相位补偿,根据式(1)、式(4),得到折算后的电流向量  $\varphi''_{li}$  为

$$\varphi''_{li} = \dot{\varphi}_{li} - \Delta\varphi'_{i-t} = \varphi_{li} + \Delta\varphi_i \quad (5)$$

由式(5)可看出,折算后的电流向量  $\varphi''_{li}$  已将本间隔电流因采样失步产生的相位差  $\Delta\varphi_{li}$  去除,仅是采样同步时的电流角度  $\varphi_{li}$  与基准装置的失步相位差  $\Delta\varphi_t$  之和。在选取同一基准的前提下,式(5)已实现了将各失步间隔电流作同步处理的功能。

## 3 同步方案的实现

下面结合图例和实例对本同步方案作进一步详细说明。

### 3.1 系统接线

如图 1 所示的双母线接线, S11 为母联间隔, S12/S13/S14/S15 为线路/主变间隔。挂在母线所有间隔均配置间隔合并单元。每个间隔合并单元除了采集间隔电流外,还需采集母线电压(直接采集或级联)。

母线保护采用网络采集网络跳闸的方式, SV 网与 GOOSE 网独立,通过全站统一时钟源或基于 IEEE1588 进行同步。在正常运行时,母线保护直接根据采样计数器进行重采样同步;当时钟源丢失或 IEEE1588 同步失效导致采样失步时,母线保护转入基于电压向量的间隔电流同步方式。

### 3.2 同步方案的实现过程

#### 3.2.1 电压向量计算

根据各间隔 MU 装置上送的母线电压原始采样数据,采用全周傅式算法实时计算出相电压向量,实时反映各 MU 采样数据的相位差。由于相电压易受系统故障、PT 断线等不利因素的影响,同步方案

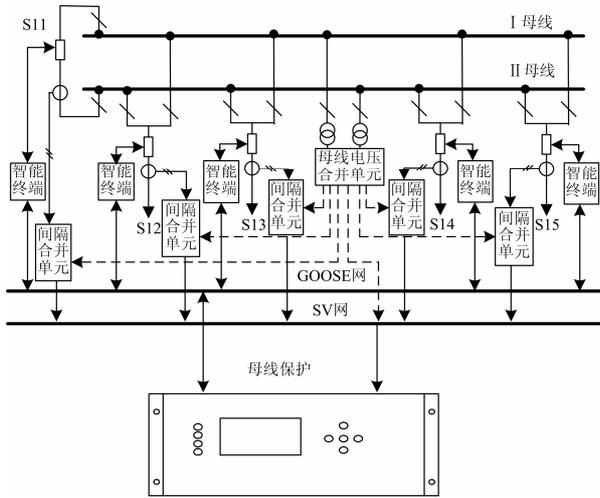


图 1 双母线连接示意图

Fig. 1 Schematic diagram of dual bus-bar connection

不直接采用相电压, 而是采用正序电压向量。这是因为在上述情况下只要不是三相故障或 PT 三相断线, 正序电压的幅值均不会为零, 且其相对相位均不会发生变化。对于三相故障或 PT 三相断线, 正序电压失效, 此时采用故障前或断线前的记忆电压。

### 3.2.2 间隔无压判断

因同步方案是依赖于间隔采集装置采集的电压向量, 当电压失压时, 电压采样数据失效, 不能再用于电压向量以及相位的计算, 此时采用记忆电压, 如果间隔失压情况持续, 考虑闭锁保护。

间隔电压的无压判据:

$$\begin{cases} 3U_1 \leq 40 \text{ V} \\ 3U_0 \geq 10 \text{ V} \end{cases} \quad (6)$$

或逻辑: 条件满足为无压; 否则为有压。\$U\_1\$、\$U\_0\$ 分别为正序电压、零序电压。

### 3.2.3 相位差计算

1) 计算得出各合并单元上送电压波形的正序电压向量以及其相位 \$\varphi\_{Vi}\$;

2) 求出与基准间隔的相位差 \$\Delta\varphi\_{i-t} = \varphi\_{Vi} - \varphi\_{Vt}\$;

3) 求出与各间隔之间的相位差 \$\Delta\varphi\_{i-j} = \varphi\_{Vi} - \varphi\_{Vj}\$;

若 \$\Delta\varphi\_{i-j} \geq 180^\circ\$ 或者 \$\Delta\varphi\_{i-j} \leq -180^\circ\$, 则闭锁保护;

4) 若基准间隔无压, 则不刷新所有间隔的相位差;

5) 若普通间隔无压, 则不刷新该间隔的相位差。

### 3.2.4 插值计算

根据 MU 数据缓冲区中的间隔电流原始采样数据以及相位差 \$\Delta\varphi\_{i-t}\$, 以基准间隔为参考, 通过插值运算对间隔电流采样值进行数据同步处理。常用

的插值方法有: 拉格朗日插值、牛顿插值、差商插值等方法<sup>[14-15]</sup>。通过对处理复杂程度、运算速度、数据精度等多种因素综合考虑, 本方案采用拉格朗日插值的抛物线 3 点插值方法<sup>[16]</sup>。

如图 2 所示, 实际采集到的相邻的三个非同步采样点为 \$A[t\_{i-1}, u(t\_{i-1})]\$, \$B[t\_i, u(t\_i)]\$, \$C[t\_{i+1}, u(t\_{i+1})]\$。可由 \$A\$、\$B\$、\$C\$ 点进行二次插值得到插值点 \$D[t'\_i, u(t'\_i)]\$, 作为近似的同步点。对于同步点 \$D[t'\_i, u(t'\_i)]\$, \$t'\_i = t\_i + \delta = t\_{i-1} + T + \delta\$ (\$T\$ 为采样间隔; \$\delta\$ 为采样时刻差值; \$\delta < T\$)。将采样点数据代入文献[16]提供的简化后的二次插值计算公式(文中式(2)得到式(7))。

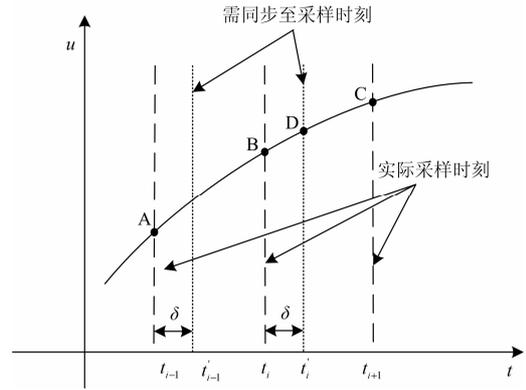


图 2 二次插值同步原理图

Fig. 2 Sketch map of synchronization using quadratic interpolation method

$$u(t'_i) = u(t_{i-1}) + \frac{u(t_i) - u(t_{i-1})}{T}(T + \delta) + \frac{u(t_{i+1}) - 2u(t_i) + u(t_{i-1}))}{2T^2}(T + \delta)\delta \quad (7)$$

式(7)中的时间值用角度值替代, 采样间隔 \$T\$ 被 \$\theta\$ 替代: \$\theta = 2\pi/N\$ (\$N\$ 为一周波的采样点数); 采样时刻差值 \$\delta\$ 被相位差 \$\Delta\varphi\$ 替代。得到

$$u(t'_i) = u(t_{i-1}) + \frac{u(t_i) - u(t_{i-1})}{\theta}(\theta + \Delta\varphi) + \frac{u(t_{i+1}) - 2u(t_i) + u(t_{i-1}))}{2\theta^2}(\theta + \Delta\varphi)\Delta\varphi \quad (8)$$

### 3.2.5 PT断线判断逻辑

电压向量是电流同步方案的基础, 当母线电压 PT 断线, 尤其是三相 PT 断线时, 会影响同步方案的实施, 因此设置 PT 断线判断逻辑, 在必要时需闭锁保护。判定逻辑如下:

1) 母线并列运行时, 若 1/2 母线电压中, 一段母线有压、一段母线无压, 延时 6 s 闭锁保护, 延时 40 ms 开放保护。

2) 1(2)母线有压, 1(2)母上的某间隔无压, 延时

40 ms 闭锁保护；条件不满足时，延时 40 ms 开放保护。

3) 1(2)母线无压，1(2)母线有流，延时 6 s 闭锁保护；条件不满足时，延时 40 ms 开放保护。

### 3.2.6 同步方案的切换及约束条件

本文基于电压向量的同步方法，作为后备方案，仅在原有的外部时钟源同步方案失效时才投入；当 GPS 或网络同步恢复正常后，本文同步方案将退出，切换回原有的同步方案。在同步方案的切换过程中，需闭锁保护。

本文的同步方案受下列条件的约束：

#### 1) 母线电压失压

本文所述同步方案依赖于 MU 采集的母线电压量，当系统电压失压或 MU 采集的电压量异常时（判断逻辑见“3.2.2 间隔无压判断”及“3.2.5 PT 断线判断逻辑”），本同步方案将失效。

#### 2) MU 采样序号严重失步

同步方案中，电压向量的相位差计算及插值同步计算均需使用到各 MU 相同采样序号的采样数据，因此需缓存一定数目的原始采样数据。当失去外部时钟源后，随着时间的推移，各 MU 采样序号的差距将会越来越大，当超出保护装置的数据缓冲区深度时，本同步方案将失效。

但这种情况一般不需考虑，因为行业内对合并单元守时的技术要求<sup>[17]</sup>为“在失去同步时钟信号 10 min 以内的守时误差应小于  $4 \mu\text{s}$ ”，假设合并单元守时误差稳定，则一天内累计的守时误差为  $24 \times 6 \times 4 \mu\text{s} = 576 \mu\text{s}$ ，对于 80 点采样，采样序号误差不超过 3 个点，而保护装置一般至少缓存两周波的数据，采样序号的误差远未超出数据缓冲区的深度。

## 4 仿真验证

按照图 1 所示的系统接线方式搭建测试系统，其中母线保护、合并单元、智能终端分别采用长园深瑞继保自动化有限公司的 BP-2C-D 型分布式微机母线保护装置、PRS-7393 型模拟量合并单元以及 PRS-7789 型智能终端。利用实时数字仿真系统 (RTDS) 仿真了系统正常运行、母线区外故障伴有 CT 饱和、母线区内故障等情况，实验波形分别见图 3~图 5。图中  $I_{2a}$ 、 $I_{2b}$ 、 $I_{2c}$  与  $U_{2a}$ 、 $U_{2b}$ 、 $U_{2c}$  分别为 S12 间隔合并单元采集的三相电流和电压， $I_{3a}$ 、 $I_{3b}$ 、 $I_{3c}$  与  $U_{3a}$ 、 $U_{3b}$ 、 $U_{3c}$  分别为 S13 间隔合并单元采集的三相电流和电压，以此类推…… $I_{da}$ 、 $I_{db}$ 、 $I_{dc}$  为三相差流；“启动”和“动作”开关量分别为母线差动保护的启动及动作状态。

### 4.1 系统正常运行

图 3 为系统正常运行时的实验波形，实验过程中 S13 与 S14 间隔合并单元采集的电压量存在约  $16^\circ$  相位差（对应约 0.88 ms 的采样时间差），间隔电流依据电压相位差进行插值同步后计算母线差流，从图中可看出计算结果为无差流。

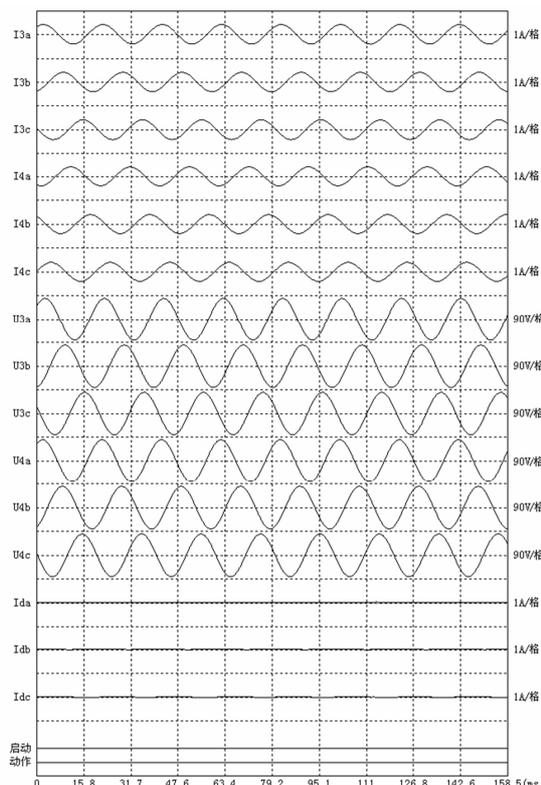


图 3 系统正常运行时的实验波形

Fig. 3 Waveforms of simulation results for no faults of busbar

### 4.2 母线区外故障伴有 CT 饱和

图 4 为 S12 间隔母线区外 A 相故障，并伴有 CT 饱和（线性转变区约为 3~4 ms）时的实验波形，实验过程中两间隔电压量的相位差约为  $19^\circ$ （对应约 1.05 ms 的采样时间差），故障期间母线保护没有动作出口，非故障相无母线差流，说明基于电压向量的电流同步方案不受故障电压的影响。

### 4.3 母线区内故障

图 5 为母线区内 B 相故障时的实验波形，实验过程中两间隔电压量的相位差约为  $10^\circ$ （对应约 0.56 ms 的采样时间差），故障发生后母线保护正确动作出口。

仿真测试结果表明在间隔采样失步的情况下，基于电压向量的电流同步方案能有效地对参与母线差动保护的电流进行同步，保证在各种工况下母线差动保护功能的正确性，证明该同步方案是切实可行的。

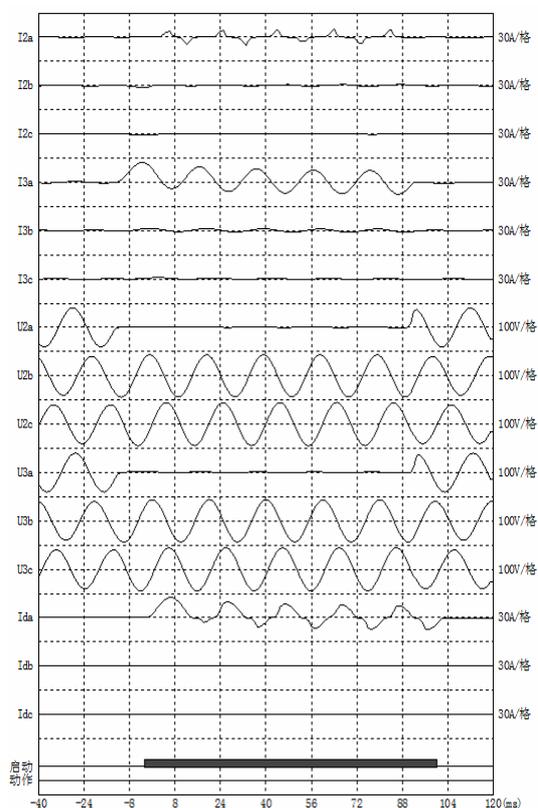


图4 母线区外故障CT饱和时的实验波形

Fig. 4 Waveforms of simulation results for external faults with CT saturation of busbar



图5 母线区内故障时的实验波形

Fig. 5 Waveforms of simulation results for internal faults of busbar

## 5 结语

针对在过程层采用组网方式的智能变电站中,保护装置依赖于外部时钟源进行采样数据同步的问题,本文提出了基于电压向量的数字化母线保护电流同步方案。在原有同步方案失效的情况下,母线差动保护可通过此方案对采样数据进行重采样同步,母线保护无需退出,从而提高母线保护的可靠性,保障电网安全。本方案不需增加外接设备,不需改变网络结构,简单易实现,在智能化变电站的建设过程中不失为一种有益的尝试。

## 参考文献

- [1] 王建华, 荣命哲, 耿英三, 等. 数字化电力设备的概念与内涵[J]. 电工技术学报, 2009, 24(6): 138-145.  
WANG Jian-hua, RONG Ming-zhe, GENG Ying-san, et al. Concept and connotation of digital electrical equipment[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(6): 138-145.
- [2] 刘慧源, 郝后堂, 李延新, 等. 数字化变电站同步方案分析[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(3): 55-58.  
LIU Hui-yuan, HAO Hou-tang, LI Yan-xin, et al. Research on a synchronism scheme for digital substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(3): 55-58.
- [3] 朱林, 陈金富, 段献忠. 数字化变电站冗余体系结构的改进及其可靠性和经济性评估[J]. 电工技术学报, 2009, 24(10): 147-151.  
ZHU Lin, CHEN Jin-fu, DUAN Xian-zhong. Improvement of redundant architecture in digital substation and its reliability & economic assessment[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(10): 147-151.
- [4] 王业, 陆于平, 徐以超, 等. 一种用于差动保护的的新型重采样方法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(11): 239-247.  
WANG Ye, LU Yu-ping, XU Yi-chao, et al. A novel resampling method for differential protection[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(11): 239-247.
- [5] 梁国坚, 段新辉, 高新华. 数字化变电站过程层组网方案[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(2): 94-98.  
LIANG Guo-jian, DUAN Xin-hui, GAO Xin-hua. Networking schemes for process level of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(2): 94-98.
- [6] 鲍凯鹏, 吕航, 张绍纯, 等. 集中式保护测控系统中母

- 线保护同步方案[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(1): 165-169.
- BAO Kai-peng, Lü Hang, ZHANG Shao-chun, et al. Synchronization scheme of busbar protection for integrated protection and measuring system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(1): 165-169.
- [7] 王攀峰, 张克元, 文明浩. 应用于数字化变电站的分布式母线保护的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(13): 68-71.
- WANG Pan-feng, ZHANG Ke-yuan, WEN Ming-hao. Research on distributed busbar protection applied to digital transformer substation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(13): 68-71.
- [8] 刘伟, 倪传坤, 杨恢宏, 等. 智能变电站分布式母线保护实现方案[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(16): 139-141.
- LIU Wei, NI Chuan-kun, YANG Hui-hong, et al. Implementation of distributed busbar protection applied to smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(16): 139-141.
- [9] 唐治国, 汪思满, 康丰, 等. 多级级联分布式母线保护方案[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(11): 136-141.
- TANG Zhi-guo, WANG Si-man, KANG Feng, et al. Multilevel cascading solution for distributed busbar protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(11): 136-141.
- [10] 李英明, 郑拓夫, 周水斌, 等. 一种智能变电站合并单元关键环节的实现方法[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(11): 93-98.
- LI Ying-ming, ZHENG Tuo-fu, ZHOU Shui-bin, et al. A realization solution of key links for merging unit in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(11): 93-98.
- [11] 樊陈, 倪益民, 沈健, 等. IEEE1588 在基于 IEC 61850-9-2 标准的合并单元中的应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(6): 55-59.
- FAN Chen, NI Yi-min, SHEN Jian, et al. Research on the application of IEEE 1588 in the merging unit based on IEC61850-9-2[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(6): 55-59.
- [12] 胡国, 唐成虹, 徐子安, 等. 数字化变电站新型合并单元的研制[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(24): 51-54.
- HU Guo, TANG Cheng-hong, XU Zi-an, et al. Development of a new type MU for digital substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(24): 51-54.
- [13] IEC 61850-9-2 communication networks and systems in substations: part 9-2 specific communication service mapping (SCSM)-sampled values over ISO/IEC 8802-3 link[S]. 2004.
- [14] 郭乐, 潘济猛, 卢家力, 等. 插值算法在智能变电站中的应用[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(10): 103-109.
- GUO Lei, PAN Ji-meng, LU Jia-li, et al. Application of interpolation algorithms in smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(10): 103-109.
- [15] 徐广辉, 李友军, 王文龙. 数字化变电站 IED 采样数据同步插值的设计[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(4): 49-52.
- XU Guang-hui, LI You-jun, WANG Wen-long. Design of a synchronization and interpolation algorithm of sampled values for digital substation IED[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(4): 49-52.
- [16] 乔洪新, 黄少锋, 刘勇. 基于二次插值理论的电子式互感器数据同步的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(15): 48-52.
- QIAO Hong-xin, HUANG Shao-feng, LIU Yong. Discussion on data synchronization of electronic current transducer based on quadratic interpolation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(15): 48-52.
- [17] 国家能源局. DLT 282-2012 合并单元技术条件[S]. 北京: 国家能源局, 2012.
- National Energy Administration. DLT 282-2012 technical requirement for merging unit[S]. Beijing: National Energy Administration, 2012.

收稿日期: 2014-01-06; 修回日期: 2014-03-03

作者简介:

占捷文 (1979-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护和智能变电站; E-mail: zhanjwvip@163.com

刘宏君 (1974-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护和智能变电站;

潘军军 (1980-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护和智能变电站。