

DOI: 10.7667/PSPC160591

# 提高智能变电站采样可靠性的研究与应用

刘颖<sup>1,2</sup>

(1. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003;

2. 南京国电南自电网自动化有限公司, 江苏 南京 211153)

**摘要:** 以智能变电站二次系统数据源头合并单元装置为切入点, 分析了目前智能变电站采样系统存在的问题。提出高可靠性采样方法, 并以此为基础设计新型合并单元装置。新型合并单元具备异常采样数据分析和处理功能, 发生数据异常时能迅速准确判别, 为变电站内继电保护提供数据异常的信息, 帮助继电保护作相应处理以避免不正确动作。经过分析和验证, 所研究方法可提高目前智能变电站采样环节的可靠性。

**关键词:** 智能变电站; 采样环节; 继电保护; 合并单元; 可靠性

## Research on improvement of sampling reliability in smart substation and application

LIU Ying<sup>1,2</sup>

(1. Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 210003, China;

2. Nanjing Guodian Nanzi Grid Automation Co., Ltd., Nanjing 211153, China)

**Abstract:** This paper takes the merging unit as point cut of smart substation secondary system data source and analyzes the problems of present sampling system. A high reliability sampling way is proposed, based on which a new type of merging unit is designed. The new merging unit owns abnormal sampling data analysis and processing function. It can quickly and accurately distinguish the abnormal data, send information to the relay protection in the substation and help the relay protection to avoid incorrect action. The research can highly improve the reliability of the sampling in the smart substation with analysis and verification.

**Key words:** smart substation; sampling process; relay protection; merging unit; high reliability

## 0 引言

四性原则是继电保护的最基本要求, 其中保护的可靠性则是重中之重。为提高继电保护的可靠性, 传统继电保护装置一般采用双 CPU 架构、两路独立采样, 分别完成保护逻辑和出口回路正电源开放功能<sup>[1-2]</sup>。

随着智能变电站技术的发展, 智能设备在变电站内已得到广泛的应用。但近些年, 智能变电站继电保护和控制设备因采样数据异常导致误动的情况时有发生, 如 500 kV 菊城变、500 kV 夏金变、330 kV 唐乃亥变等高电压等级智能变电站。智能变电站数据采样技术的不成熟给继电保护可靠性带来了损害, 必须尽快提高智能变电站采样的可靠性。本文根据智能变电站不同采样原理及其产生的异常数据不同特征研究了提高智能变电站采样环节可靠性的新技术<sup>[3-4]</sup>。

## 1 智能变电站采样可靠性现状

### 1.1 智能变电站采样风险

智能变电站采样环节一般由合并单元完成, 部分智能变电站也可以由继电保护装置完成。在电力系统中, 电流、电压采样是不可或缺的重要环节, 与变电站保护、控制、计量、测量等环节密切相关。为提高可靠性, 220 kV 及以上智能变电站的保护控制装置和回路一般采用独立的双套配置原则: 互感器线圈双重化; 合并单元、智能单元、保护控制设备双重化; 每个交流通道采用双 A/D 回路采集。以上配置方案可以解决继电保护拒动的问题, 但对于单个设备异常导致保护误动的问题没有帮助。

针对单个合并单元或继电保护装置的采样环节, 可能出现以下几种异常情况。

#### (1) 小互感器异常

该问题主要出现在模拟量输入式合并单元及自

带采样回路的保护与控制装置。

由于材料、加工工艺等方面的问题，如内部虚焊、绝缘不可靠等，导致互感器出现异常。图1给出了某故障互感器的X光扫描图，该器件存在内部虚焊的问题。在设备调试时，该互感器输出正常。随着运行时间增加，最大通流值的增加，焊接不可靠处逐渐严重，最终导致输出异常。

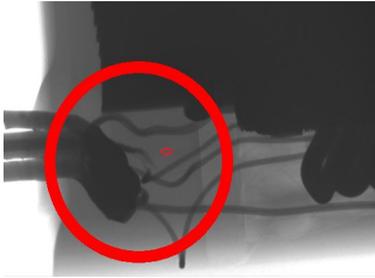


图1 互感器内部虚焊示意图  
Fig. 1 Transformer bad welding

此外，由于生产、焊接、加工等环节存在难以控制的质量风险，交流模块上的互感器虚焊问题也时有发生，如图2所示。该虚焊点因单面有焊锡，在调试时较难发现，随着运行时间推移，产生不可靠接触，最终导致互感器输出异常。

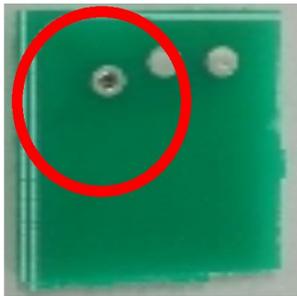


图2 印制板虚焊示意图  
Fig. 2 Circuit board bad welding

上述两方面因素均会导致互感器二次输出异常，产生波形失真，某事故现场录波如图3所示。



图3 虚焊造成的保护电流回路异常波形  
Fig. 3 Abnormal data caused by bad welding

## (2) 采样 A/D 异常

由于装置运行时的外部电磁干扰、芯片故障、参考电平波动、芯片管腿焊接不可靠等因素，模数

转换环节亦会发生故障，且随着运行时间的增加，故障概率也增加，影响电力系统的可靠运行。

该问题同样主要出现在模拟量输入式合并单元及自带采样回路的保护制装置上。

## (3) 采样数据中带有异常的白噪声

该问题主要集中在数字式合并单元。由于数据采集回路的可靠性及电磁干扰的影响，电子式互感器的输出波形有时会出现较大的白噪声，如图4所示。由于数字式合并单元本身不具备硬件滤波回路，若直接转发，必然会对保护、测量等环节造成影响<sup>[5]</sup>。

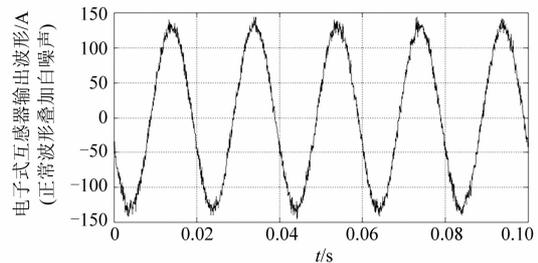


图4 电子式互感器采样值输出波形  
Fig. 4 Sampling value output by ECT

## (4) 采样数据中带有异常飞点

模拟量输入式合并单元、数字式合并单元以及自带采样回路的保护与控制装置均会出现此问题。

由于工作环境及元器件老化等因素，数据采集功能出现异常，导致个别数据乱码，偏离正常采样值，即数据飞点。由于飞点数据所带的数据品质均正常，继电保护装置将按正常处理流程将该数据纳入正常的保护计算，从而可能导致继电保护的不正确动作<sup>[6]</sup>。

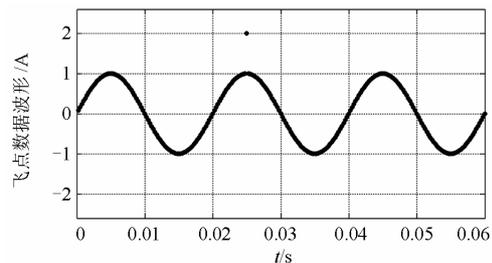


图5 飞点数据波形  
Fig. 5 Abnormal point of sampling

## 1.2 现有提高采样可靠性的方法

针对数字化采样环节的风险，为提高其可靠性，合并单元一般配置双 A/D，当单路采样出现异常时，保护装置经双 A/D 数据判别，可防止误动。但因 A/D 前一级器件异常导致双 A/D 数据同时出现相同异常，则该判别方法失效。因此，急需研究新的方法提高智能变电站采样环节的可靠性。

## 2 高可靠性采样方法与实现

上述采用可靠性问题在变电站具有一定的普遍性。不论采用电子式互感器或传统互感器，不论采样环节设置于合并单元或继电保护装置，目前现有的采样环节仅具备采样功能，无法滤除采样数据中各个频段的白噪声。也无法判别数据中是否存在飞点、或双 A/D 数据同时出现异常。为了解决上述问题，在合并单元上设计采样数据分析及异常处理功能，使得合并单元装置真正实现“智能化”。根据合并单元不同采样原理，有针对性地进行多层次分析处理。其流程图如图 6 所示。

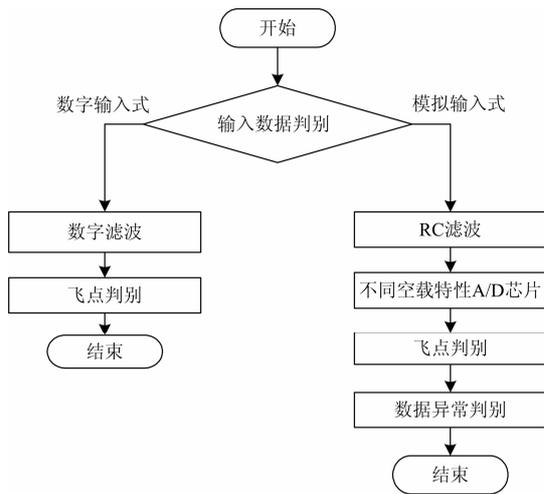


图 6 合并单元高可靠采样实现方案  
Fig. 6 High reliable sampling of merging unit

### 2.1 白噪声实时滤波

在合并单元上对白噪声进行实时滤波，采用以下几个步骤：

- (1) 通过合并单元装置录波功能录取电子式互感器采集单元输出的原始采样数据；
- (2) 利用辅助软件采用离线方式对白噪声信号进行 FFT 分析，分析信号的频率分布；
- (3) 考虑合并单元总体延时和各次幅值精度要求，设计 FIR 滤波器阶数及各阶的系数；
- (4) 计算滤波器幅频曲线、相频曲线、额定延时、各次谐波增益等参数；
- (5) 确定滤波器参数后，设置到合并单元数据处理软件模块中<sup>[7]</sup>。

需要说明的是，因不同型号和个体的电子式互感器产生信号频谱不尽相同，针对每个电子式互感器及其配合的合并单元，都需要单独设计滤波器参数。遇到设备检修、更换、改扩建等，其滤波器参数也重新计算。最终将上述(2)、(3)、(4)、(5)等步

骤在合并单元装置实现，使其针对各种电子式互感器都可以在线自动生成滤波器参数。

滤波器方案需要保证对高频白噪声的抑制效果，且不对基波及低次谐波的精度产生影响。要保证增加滤波环节后，合并单元的谐波精度满足标准和规范的要求，即保护通道 2~5 次谐波的幅值误差 ≤5%，测量通道 2~13 次谐波的幅值误差 ≤5%。并且要保证增加数字滤波环节后，合并单元总延时满足相关规范和标准的要求，即未级联 ≤1 ms，级联后 ≤2 ms<sup>[8]</sup>。

### 2.2 数据中飞点的判别

电力系统正常运行时，仅有基波与谐波分量存在，电流、电压波形均为连续的光滑正弦曲线。根据正弦波连续性的特征，构建判别式来判别该点是否满足正弦函数的连续性<sup>[9]</sup>。具体方法为

$$|f(NT) - f((N-1)T)| > k_1 \times 2\sin(\pi/f_s) f_{\max} \quad (1)$$

$$|f(NT) - f((N+1)T)| > k_1 \times 2\sin(\pi/f_s) f_{\max}$$

式中： $f(NT)$ 表示当前采样点的采样值； $f((N-1)T)$ 表示前一采样点的采样值； $f((N+1)T)$ 表示后一采样点的采样值； $f_{\max}$ 表示前一周期的采样点的采样值的最大幅值； $f_s$ 为采样频率； $k_1$ 、 $k_2$ 为可靠系数； $f$ 为交流系统频率。

在 CT 饱和时，电流降低的过程中可能会出现误判飞点的情况，需采用第二个条件来排除 CT 饱和和误判的情况。具体方法为

$$|f(NT)| > k_2 \times |f((N-1)T)| \quad (2)$$

$$|f(NT)| > k_2 \times |f((N+1)T)|$$

当同时满足所述第一条条件和第二条条件时，判别当前采样点为飞点数据。需要说明的是，飞点判别时，不会影响原始的采样数据，只是给保护提供相应的判别结果。该过程也可以在保护装置侧完成。

### 2.3 不同空载特性 A/D 芯片采集同一互感器数据

与目前使用的双 A/D 采样系统不同，本方法采用具有两种不同空载特性的 A/D 采集回路来采集小电压信号。其中一路 A/D 回路在互感器次级及其附属回路出现断线或者接触不良时，输出固定的偏置电压，且该偏置电压设计大于互感器输出额定值的 50%；另一路 A/D 回路则输出“0”电压。且两种不同空载特性的 A/D 采集回路之间利用数字多路开关进行隔离，防止互感器次级断线时两路 A/D 回路等电位。

当小互感器次级出现异常断线或接触不良时，同一小互感器的输出在两种不同空载特性的 A/D 回路上采到的电压不同。具有 A/D 信号采集和数据判别的微处理器，可以根据同一小互感器在不同空载

特性的 A/D 回路上采集到的数字量差异, 依据两组采样点瞬时值误差比较的结果判断该小互感器的次级输出是否断线或接触不良, 进而将该异常情况作为错误状态标记。其结构图如图 7 所示。

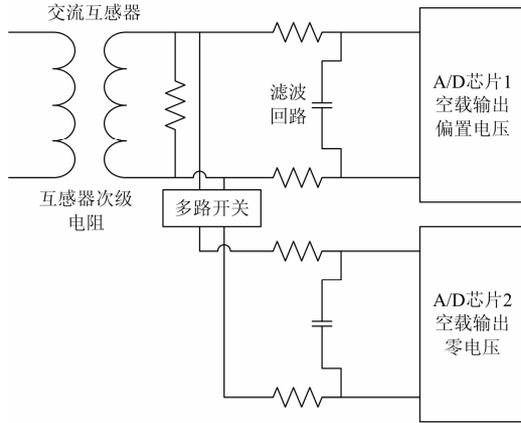


图 7 不同空载特性 A/D 采集回路原理图

Fig. 7 Diagram of A/D circuit with different no-load value

### 2.4 互感器异常波形软件判别

经过上述措施, 依然有可能出现数据异常的情况。互感器次级线圈并未断线, 也未检测到飞点类型异常数据, 某相的相电流双 A/D 数据同时出现畸变。出现这样情况的原因是该相电流互感器受到一定能量的干扰, 导致互感器次级出现异常波形, 被双 A/D 芯片同时采集到。这种情况下, 上述措施无法判别出异常。此时, 需要通过互感器间的横向比较和算法配合来判别<sup>[10]</sup>。(方法不考虑两相电流同时出现异常的情况)具体方法如图 8 所示。

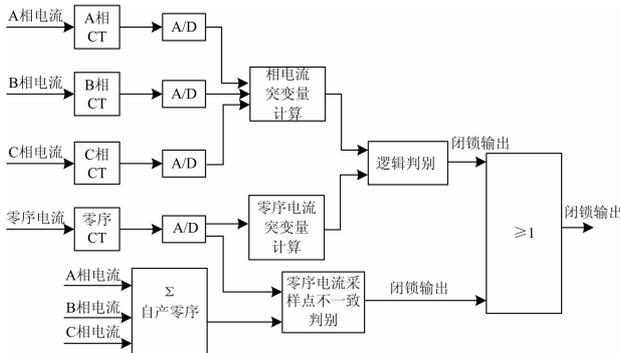


图 8 异常波形软件判别逻辑框图

Fig. 8 Diagram of distinguishing abnormal wave by software

(1) 装置设置零序电流互感器, 利用自产零序电流和外接零序电流的瞬时采样点数值偏差比较<sup>[11]</sup>。

(2) 各相电流计算突变量, 与零序电流突变量比较。

上述判别方法的算法如下:

$\Delta i_{\phi\phi} > I_{QD} + 1.25\Delta I_r$ , 为相电流动作判别方程; 其中  $\phi\phi$  为 AB, BC, CA 三种相别,  $T$  为 20 ms;  $\Delta i_{\phi\phi} = |i_{\phi\phi}(t) - 2i_{\phi\phi}(t-T) + i_{\phi\phi}(t-2T)|$ , 为相间电流瞬时值的突变量;  $\Delta 3i_0 > I_{QD} + 1.25\Delta 3I_0r$ , 为零序电流判别方程;  $\Delta 3i_0 = |\Delta 3i_0(t) - 2 \times 3i_0(t-T) + 3i_0(t-2T)|$  为零序电流瞬时值的突变量;  $\Delta I_r$ 、 $\Delta 3I_0r$  分别为相间电流、零序电流突变量浮动门槛。

任意相电流突变量采样点动作, 且零序电流不动作, 判别为电流互感器输出异常, 闭锁数据。

合并单元计算外接零序电流和自产零序电流的瞬时误差, 方法为

$$\frac{|3i_{0z}(t) - 3i_{0w}(t)|}{\min(3i_{0w}(t), 3i_{0z}(t))} > \varepsilon$$

式中:  $3i_{0z}(t)$  为自产零序电流瞬时值;  $3i_{0w}(t)$  为外接零序电流瞬时值。两者差值过大就可判定为采样回路有异常。

### 2.5 方法的拓展应用

合并单元装置输出变电站内最全面且最重要基础数据。基础数据中包含了最原始的电气信息量, 也包含了以上几种方法初步分析和处理的状态信息。此时将处理的状态信息和处理后的数据输出给继电保护装置, 在继电保护装置中设置闭环控制, 优化继电保护装置性能。具体方法如下:

1) 合并单元分析其采样数据的质量。采用量化的波形畸变率为依据, 通过计算相应的波形系数, 来表征波形偏离正弦标准波形的程度<sup>[12]</sup>。

2) 依据不同的波形系数数值, 通过调整合并单元预先设置好的滤波器阶数、插值算法、采样率等手段来调节数据质量。

3) 将计算出的波形系数结果与采用的调节方式同时发送给继电保护装置。

4) 继电保护算法根据合并单元送出的波形系数和调节方式, 来调节自身继电保护功能逻辑和灵敏度, 如动作门槛、定值参数等, 最终形成闭环控制。

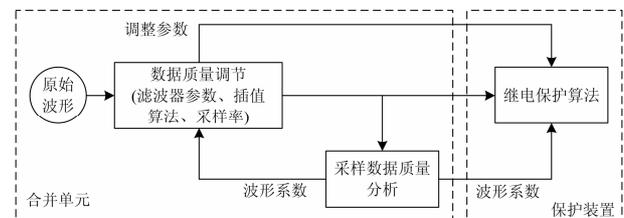


图 9 基于波形系数的合并单元数据质量调节闭环控制系统  
Fig. 9 Closed-loop control system based on the waveform factor of the merging unit data quality control system

### 3 试验验证

#### 3.1 系统性白噪声滤波性能验证

以图 4 所示的电子式互感器为样品，断开外部电流，对该采样数据进行 FFT 分析，分析方法采用 Matlab 自编 FFT 分析代码，并与 Matlab 标准工具箱中的 FFT 工具计算结果进行校验<sup>[13]</sup>。不难发现即使不加载电流，电子式互感器的输出波形也有较大的白噪声。该噪声由电子式互感器采样系统产生，与施加的电流激励无关。

综合考虑合并单元延时时间、滤波效果等因素，设计了如下的 8 阶滤波器，参数如表 1 所示。

表 1 滤波器参数

Table 1 Coefficients of LPF

系数	取值	系数	取值
a0	-0.018 5	a5	0.266 5
a1	-0.015 4	a6	0.087 4
a2	0.087 4	a7	-0.015 4
a3	0.266 5	a8	-0.018 5
a4	0.36		

表 2 直流分量及各次谐波增益

Table 2 Magnitude gain of DC component and each harmonic

谐波次数	幅值增益	谐波次数	幅值增益
0(直流分量)	1(0 dB)	7	0.994 5(-0.048 1 dB)
1(基波)	0.999 9(-0.000 9 dB)	8	0.992 7(-0.064 0 dB)
2	0.999 6(-0.003 7 dB)	9	0.990 5(-0.082 5 dB)
3	0.999 0(-0.008 4 dB)	10	0.988 1(-0.104 1 dB)
4	0.998 3(-0.015 1 dB)	11	0.985 3(-0.128 9 dB)
5	0.997 3(-0.023 9 dB)	12	0.982 1(-0.157 1 dB)
6	0.996 0(-0.034 8 dB)	13	0.978 5(-0.189 0 dB)

数字滤波后的波形如图 11 所示，达到了预期的效果，有很大改善。

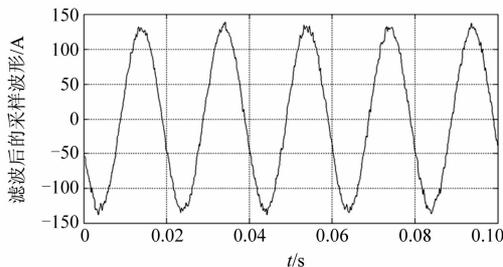


图 11 低通滤波后的采样波形

Fig. 11 Wave after LPF

#### 3.2 数字采样飞点判别性能验证

新方法在合并单元中设置采样点飞点判别功能。当采样数据出现飞点时，能迅速、准确做出判

断。判别方法如式(1)和式(2)所示。该滤波器的传递函数见公式(2)，其幅频响应曲线如图 10 所示。

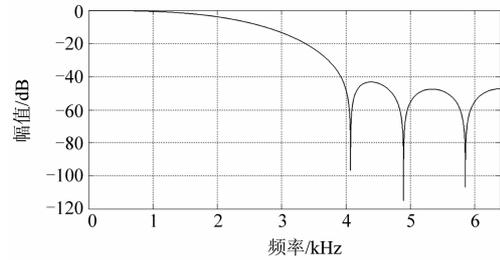


图 10 滤波器幅频响应曲线

Fig. 10 Magnitude frequency response of filter

该滤波器对直流分量及各次谐波的幅值增益如表 2 所示。

该滤波器对高频段的信号具有较好的滤波效果；对低频段，2~13 次的谐波精度满足保护及测量的需求。

当采样率为 4 000 Hz 时，该滤波器的延时时间为 312.5 μs，合并单元处理延时 558 μs，总延时为 870.5 μs，符合 1 ms 的指标。

断。判别方法如式(1)和式(2)所示。如图 12 所示，图 12 上图是带有飞点的采样波形。经过合并单元的计算判别，可以准确判别出飞点数据异常。

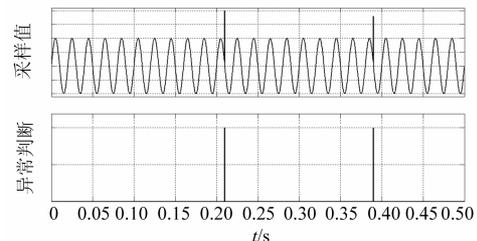


图 12 飞点判别采样值原始波形及判别结果

Fig. 12 Original waveform and discrimination result of the sampling value with abnormal points

为了检验算法在周期性波形上的普适性，在一个周波不同位置施加 2 倍于正常数据的飞点，并通

过本算法进行扫描测试<sup>[14]</sup>。因小值的任意倍数飞点效果并不显著,整周波仅有在过零点附近的6个采样点(采样率为每周波256点)不能正确识别。其他位置飞点均能检测出,达到预期效果,如图13所示。

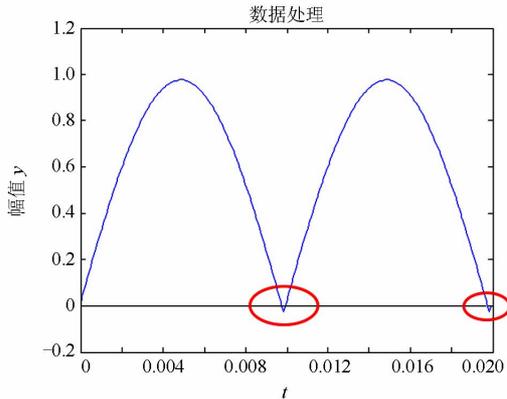


图13 正弦整周波施加飞点检测效果

Fig. 13 Abnormal points test on whole cycle

### 3.3 双 A/D 数据异常判别性能验证

针对同一互感器异常,新方法设计了不同空载特性的 A/D 芯片。当 A/D 回路在互感器次级及其附属回路出现断线或者接触不良时,输出不同的偏置电压,通过瞬时值比较,就可以迅速判断数据异常,如图14所示。

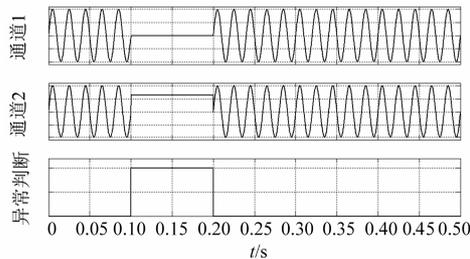


图14 硬件判别双 A/D 数据不一致判断结果

Fig. 14 Dual A/D data inconsistent judgment by hardware

将复金变双 A/D 数据录波回放,并进行不一致判别过程仿真,具备异常数据判别回路的合并单元完全可以及时告知闭锁继电保护,不会造成误动情况发生。

## 4 结语

针对智能变电站采样环节存在的可靠性问题,本文提出了一种高可靠性的采样新方法。通过滤波设计、硬件 A/D 回路设计、软件算法分析判别等方式,实现对采样回路异常分析,并有效提升数据质量,完全可以避免继电保护因低品质和异常数据导致误动情况,将大大降低智能变电站保护因采样回

路异常导致的不正确动作概率。经过理论计算和实际验证,本文设计的数据分析和处理方法各项指标均能满足标准要求,并能有效检测出各种异常数据波形,正确反馈状态标志。所研究的方法已经用于国电南自各种型号的模拟输入和数字输入合并单元、合智一体产品中,运行效果良好,完全满足电力系统对采样的要求。该方法将有效提升智能变电站实际效益。

## 参考文献

- [1] 戴志辉,王增平. 继电保护可靠性研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(15): 161-167.  
DAI Zhihui, WANG Zengping. Overview of research on protection reliability[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(15): 161-167.
- [2] 郑涛,王方,金乃正. 双重化继电保护系统确定最佳检修周期新方法[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(10): 67-70, 75.  
ZHENG Tao, WANG Fang, JIN Naizheng. A novel algorithm of determining the optimal routine test interval of the dual-redundant relay protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(10): 67-70, 75.
- [3] 李锋,谢俊,兰金波,等. 智能变电站继电保护配置的展望和探讨[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(2): 122-126.  
LI Feng, XIE Jun, LAN Jinbo, et al. Prospect and discussion of relay system configuration for intelligent substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(2): 122-126.
- [4] 赵家庆,徐春雷,高宗和,等. 基于分布式同步方法的智能变电站采样值组网技术[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(24): 60-65, 75.  
ZHAO Jiaqing, XU Chunlei, GAO Zonghe, et al. A networking technology for sampled values in smart substations based on distributed synchronization[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(24): 60-65, 75.
- [5] 吴通华,蒋雷海,李友军. 电力系统电气量异常采样值实时辨识方法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(23): 95-98.  
WU Tonghua, JIANG Leihai, LI Youjun. Real time identification of abnormal sampling data of power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(23): 95-98.
- [6] 汪英平,靳夏宁,王赞基. 实现动态相量测量的 FIR 数字滤波器最优设计[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(15): 2388-2395.

- WANG Fuping, JIN Xianing, WANG Zanji. Optimal design of FIR digital filters for dynamic phasor measurement[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(15): 2388-2395.
- [7] 李帅, 虞小燕, 龚世敏, 等. 数字量输入式合并单元的白噪声处理[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(5): 128-133.  
LI Shuai, YU Xiaoyan, GONG Shimin, et al. White noise processing in merging unit of digital input[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5): 128-133.
- [8] 张鸿博, 蔡晓峰, 鲁改凤, 等. 基于全相位 FFT 改进相位差法的自动准同期并列参数测量[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(4): 76-83.  
ZHANG Hongbo, CAI Xiaofeng, LU Gaifeng, et al. Generator quasi synchronization parameter measurement method based on improved phase difference method of all-phase fast Fourier transform[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(4): 76-83.
- [9] 吴文举, 占捷文. 基于可去间断点的连续采样飞点检测算法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(4): 18-24.  
WU Wenju, ZHAN Jiewen. A flying spot detection algorithm for continuous sampling based on removable discontinuous points[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(4): 18-24.
- [10] 王晓晨, 黄继东. 基于直采直跳模式的智能变电站的母线保护应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(19): 150-154.  
WANG Xiaochen, HUANG Jidong. Practical research on point-to-point model of bus protection in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(19): 150-154.
- [11] 陈福锋, 钱国明. 基于同杆双回线跨线故障识别的选相方案[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(6): 66-70.  
CHEN Fufeng, QIAN Guoming. Research on fault phase selector of protective relay for double circuit lines based on crossing-line fault[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(6): 66-70.
- [12] 索南加乐, 刘文涛, 张健康, 等. 基于波形系数的自适应距离保护[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(5): 38-44.  
SUONAN Jiale, LIU Wentao, ZHANG Jiankang, et al. Adaptive distance protection based on waveform factor[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(5): 38-44.
- [13] 王亮, 王志新, 陆斌锋, 等. 基于 LCL 滤波器的单相光伏并网逆变器控制器设计[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(12): 114-118.  
WANG Liang, WANG Zhixin, LU Binfeng, et al. Design of the controller of the single phase PV grid-connected inverter with LCL filter[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(12): 114-118.
- [14] 王玲, 汪本进, 吴士普, 等. 电子式电流互感器暂态特性检测系统研究[J]. 高压电器, 2014, 50(11): 86-91.  
WANG Ling, WANG Benjin, WU Shipu, et al. Study on transient characteristics test method of electronic current transformer[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(11): 86-91.

收稿日期: 2016-04-26; 修回日期: 2016-06-11

作者简介:

刘颖(1972-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事智能变电站及继电保护业务相关的研发管理及产业化工作。

(编辑 周金梅)