

DOI: 10.7667/PSPC171733

# 现代智能变电站中二次回路延时检测方法的研究分析

姚庆华, 董林会

(国网冀北电力有限公司唐山供电公司, 河北 唐山 063000)

**摘要:** 较传统变电站而言, 智能变电站二次回路中的延时不确定性增加, 对继电保护产生的影响也更大。为了实现二次回路整体延时特性的测试和对单个装置的检测, 首先通过对智能变电站二次回路中所存在的延时环节进行分析。然后针对二次回路中信息传输的形式提出对整个回路延时的检测方法和实验方案。最后给出一组采用所提实验方法的测试仪器的测量结果。该检测方法和实验方案测量精度高、操作简单、易于实现, 能够切实地测量二次回路中单个装置的延时以及回路整体延时, 供工作人员从整体把握智能变电站运行维护, 对二次回路中装置的运行维护具有一定的指导意义。

**关键词:** 智能变电站; 二次回路; 延时; 检测方案; 运行维护

## Research and analysis of the secondary circuit delay detection method in modern intelligent substation

YAO Qinghua, DONG Linhui

(Tangshan Power Supply Company, State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Tangshan 063000, China)

**Abstract:** Compared with the traditional substation, the delay uncertainty in the secondary circuit of the intelligent substations increases, which greatly affects relay protection. In order to measure the whole delay characteristic of the secondary circuit and detect the single device, first of all, this paper analyses the delay link in the secondary circuit of the intelligent substation. Then, according to the form of information transmission in the secondary loop, the detection method and experimental scheme for the delay of the whole loop are put forward. Finally, the measurement results of a group of test instruments using the experimental method are given. The measuring method and the experimental scheme have the advantages of high measurement precision, simple operation and easy implementation. It can measure the delay of the single device and the whole delay of the loop in the secondary circuit, so that the staff can grasp the operation and maintenance of the intelligent substation from the whole situation. It has certain guiding significance for the operation and maintenance of the device in the secondary circuit.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 52094015001A).

**Key words:** intelligent substation; secondary circuit; delay; detection scheme; operational maintenance

## 0 引言

智能变电站是统一坚强智能电网的重要组成部分和关键环节, 采用先进的传感信息、通信、控制、人工智能等技术, 建立全站所有信息采集、传输、分析、处理的数字化统一应用的平台, 实现变电站的信息化、自动化、互动化<sup>[1-4]</sup>。二次回路是变电站最为核心的内容, 其性能将直接影响到智能变电站的可靠运行<sup>[4-7]</sup>。相对于传统变电站二次回路一对一

的信号传输模式, 智能变电站二次回路的传输环节增多、网络资源竞争和信息分布采样的特点反而降低了其综合性能<sup>[7-10]</sup>。目前, 对智能变电站二次回路的测试多面向单个的智能装置, 而对智能变电站二次回路整组延时的测试却相对较少, 延时对继电保护影响的研究就更少了<sup>[11-16]</sup>。

为解决上述问题, 本文以智能变电站二次回路的整组性能为研究对象, 提出对智能变电站二次回路延时问题的测试方案。该方案将从电子式互感器或传统互感器采集, 经合并单元、保护装置、智能终端等装置传输, 到断路器跳闸的数据流进行分析,

从而得出每个环节的延时特性以及二次回路的整组性能。

## 1 智能变电站二次回路中的延时

### 1.1 二次回路延时分析

传统变电站采用电磁式互感器输出的模拟量采样值经电缆直接并行送入二次设备, 如图 1 所示, 由保护设备完成多路模拟量的同步采样, 采样值传输延时固定且数值很小。智能变电站采用电子式互感器, 其输出为数字采样值, 二次回路从信号采样到智能终端(IED) 接收到动作信号, 其数据流所要经历的环节如下: 当电子式互感器接收到合并单元(MU)的同步采样信号, 经调理和 A/D 转换后将采样值数据发送至合并单元, 合并单元接收多路同步采样值并进行相位差补偿、内同步以及打时标等处理, 最后按报文格式将数据组帧发往交换机, 采样值(Sampled Value, SV) 报文经交换机处理并按照通信规约在网络中传播, 保护装置从网络上获得数据包并进行解包操作及数据分析, 再将含有跳闸命令的 GOOSE 报文发给交换机, 最终智能终端从交换机网络中获取所需的含动作命令的 GOOSE 报文。智能变电站二次回路结构如图 2 所示。

与传统变电站相比, 智能变电站二次回路中增加了很多数据转换和信息传输的环节, 这在实现信息共享的同时牺牲了信息传输的实时性。A/D 转换、光电信号转换、以太网信息交换的竞争等待、报文的编码与解码、交换机的报文接收与转发都存在着一一定的延时。此外, 交换机网络的竞争机制导致了信息传输延时的不确定性。特别是在电网故障或系统规模扩大时, 交换机网络的负载率过高, 将会出现报文超时到达, 甚至报文丢失, 不能保证时延的确定性。

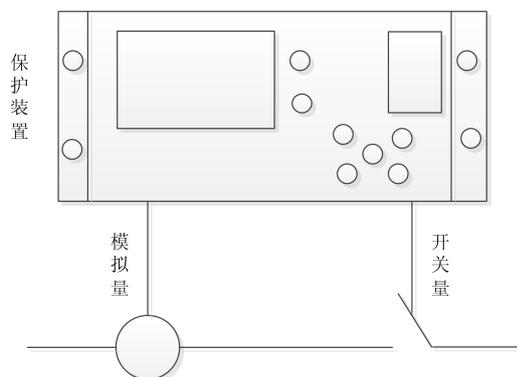


图 1 传统变电站二次回路

Fig. 1 Secondary circuit of traditional substation

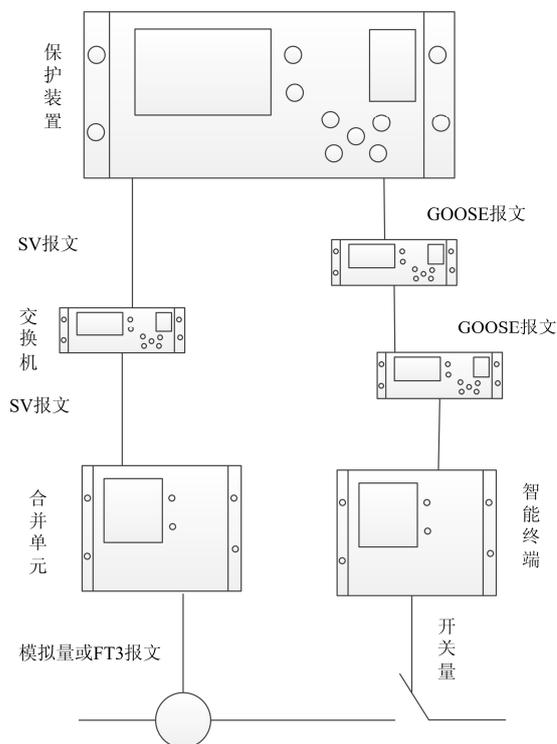


图 2 智能变电站二次回路

Fig. 2 Secondary circuit of intelligent substation

### 1.2 二次回路延时对继电保护的影响

破坏电力系统正常运行的最常见原因就是各种类型的短路故障。在发生短路时, 故障点的阻抗变得很小, 电流在瞬间升高, 产生很大电动力和高温, 破坏电力系统元件; 且短路时电压骤降将严重影响电力设备的运行, 严重时甚至会导致电力系统瘫痪。所以在电力系统发生故障时, 要求能够在极短的时间内将故障切除, 尽可能将损失降到最低<sup>[17-20]</sup>。

目前国家电网对智能变电站内装置规定了其技术指标, 对智能变电站保护装置的动作时间规定有: 线路纵联保护装置的動作时间不大于 30 ms、母差保护装置動作时间不大于 30 ms、变压器保护装置差动速断保护装置動作时间不大于 20 ms 等, 对于其他相关设备的延时特性, 国网公司有着如下的规定:

- 1) 对于电子式互感器, 其额定延时不大于  $2T_s$ , 即两个采样周期。
- 2) MU 采样值报文采样延时应小于 2 ms, 点对点采样值发送最大时间差不应大于 10  $\mu$ s。
- 3) 智能终端动作延时不大于 7 ms。
- 4) 交换机交换实验小于 10  $\mu$ s。

而对于智能变电站二次回路保护整组动作时间

$T_{ms}$  只给出如式(1)所示的定义, 并未提出明确的性能指标。

$$T = t_{sm} + t_{t1} + t_p + t_{t2} + t_{st} \quad (1)$$

式中:  $t_{sm}$  为采样延时;  $t_{t1}$  为 MU 到保护传输时间;  $t_p$  为保护装置动作时间;  $t_{t2}$  为保护装置到智能终端传输时间;  $t_{st}$  为智能终端动作时间。

对于上述装置在运行使用中能否达到国家规定的技术指标, 二次回路中各个环节数据传输延时大小以及会对电网运行产生什么结果, 运行维护人员并不能确切掌握。随着智能电网规模的扩大, 站内装置的增多, 即使对各装置规定了时延的指标, 但由此造成二次回路整体延时的不确定性也就更大。由于信息传输的延时, 智能变电站中保护装置可能会出现拒动、误动等, 对电网、用户造成不可预计的损失, 所以对二次回路的综合性能开展客观的分析和定量的测试很有必要。

### 2 二次回路传输延时分析方法

在智能变电站二次回路的延时测试中, 根据二次回路中传输的信息差异, 可将二次回路延时检测分为二次值传输延时和间隔内动作延时两类, 通过不同的实验方法检测这两部分延时。

#### 2.1 二次值传输延时分析方法

在智能变电站中, 二次值主要以模拟量、FT3 报文、SV 报文的形式在二次回路的不同环节中传输。模拟量为电网中连续的工频正弦电流/电压信号, 而数字报文为一连串离散的采样值报文, 在每一帧采样值报文中记录着同一时间断面的多路电流/电压采样值, 每路采样值是通过电子式互感器或合并单元对电网中工频的交流模拟量信号进行等时间间隔的采集、A/D 转换得到的数字量。二次回路相位差延时计算原理如图 3 所示。通过测试仪对模拟量的采集和对数字报文的接收后, 各个环节中二次值均为带有时间信息的离散值, 可按时间顺序将其电流/电压波形进行还原, 再比较回路中各处电流/电压波形的相位差, 从而计算出二次回路中传输延时。

对于电网波形的相位差测量, 常用的处理方法主要有: 过零点法、相关法、频谱分析法等, 其中频谱分析法利用离散傅立叶变换(Discrete Fourier Transform, DFT)原理将时域信号变换到频域, 再根据相频特性来确定两个信号的相位差, 具有较强的抗干扰能力, 在电力系统相位差研究中具有较广泛的应用。在采用频谱分析法计算交流信号的相位差时, 数据采集系统采集交流信号时的同步性对分析结果有着决定性的影响, 而在实际测量中, 硬件设

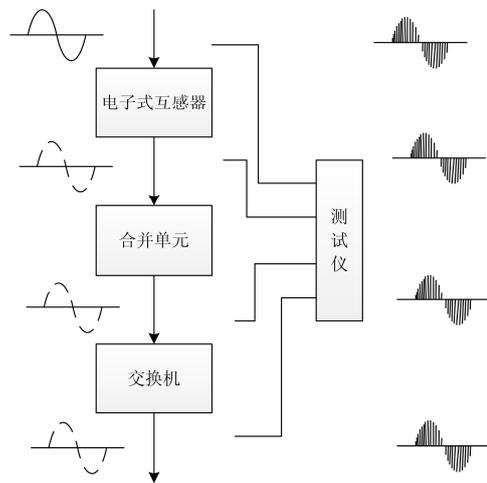


图 3 相位差延时计算原理

Fig. 3 Calculation principle of phase difference delay

备的限制以及电网信号频率的缓慢波动, 使得理想的同步采样很难实现。在非同步采样条件下, 利用 DFT 算法对信号分析时会出现长、短范围的频谱泄漏, 造成测量误差。因此在采用 DFT 算法的同时, 通常加入合适的窗函数来减小频谱泄漏, 并使用插值法来消除栅栏效应引起的误差。

此外, 对于合并单元的延时也可以用计算零号包的方法获得, 其计算原理如图 4 所示。合并单元在外同步时, SV 报文的零号包将在每秒的 0 时刻发出, 所以合并单元的延时可由零号包的接收时刻得到。

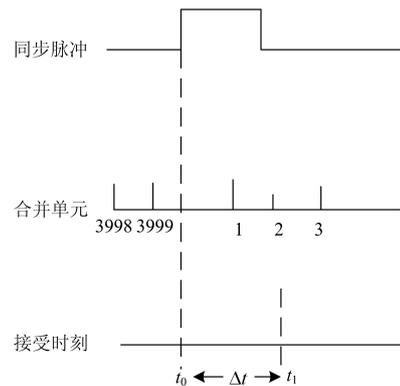


图 4 零号包延时计算原理

Fig. 4 Calculation principle of zero packet delay

#### 2.2 间隔内动作延时分析方法

间隔内动作延时的分析需通过在二次值中引入故障量, 可通过 OMICRON 测试仪给电子式互感器加故障量或通过光数字继电保护测试仪给合并单元或保护装置发送故障报文, 从而测试智能变电站二次回路的动作延时。动作延时的计算可对模拟量或报文中故障点时刻和开关量或报文中断路器状态

跳变时刻进行比较,从而得出回路中各处动作的时延,如图5所示。

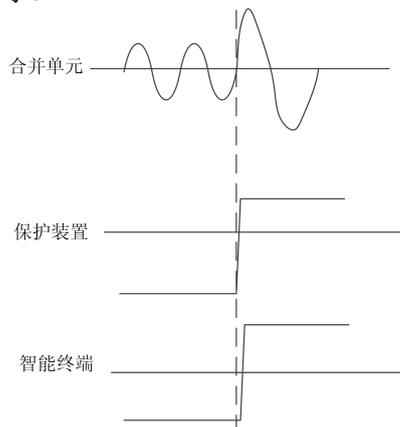


图5 动作信号延时计算原理

Fig. 5 Calculation principle of action signal delay

### 3 应用测试

根据本文提出的智能变电站二次回路性能分析方法及实验方案,研制了具备信息采集和时钟同步等功能的智能变电站二次回路性能测试仪。该测试仪具有多种接口,可同时接收多路模拟量、开关量、FT3 报文、SV 报文以及 GOOSE 报文,并具备对数据处理、存储、分析的能力。在接收模拟量、开关量以及数字报文的同时,测试仪利用数据处理实时性很高的 FPGA 芯片对其打“时间戳”,确保后续波形还原和数据分析的准确性。测试仪通过接收 GPS 接收机传来的 IRIG-B 码维护内部时钟,并采用一定的补偿算法,提高装置时间信息的精确性。

采用上述智能变电站二次回路测试仪对一未投运的智能站二次回路实地测试,表1为其中一个间隔的延时测试结果,该间隔包含合并单元、保护装置和智能终端三个装置,结构简单,延时环节较少,通过对间隔内信息的采集与分析,得到其延时特性如表1所示。

表1 二次回路延时特性测试数据

Table1 Test data of delay characteristic

实验次数	1	2	3
合并单元延时/ $\mu$ s	1 350.96	1 351.29	1 251.28
线路保护动作时间 (分相差动/ms)	19.566	19.769	19.348
智能终端动作时 间/ms	7.816	7.522	7.773
整体动作时间/ms	28.868	28.783	28.477

### 4 结语

智能变电站相对传统式变电站,其二次回路结

构复杂、装置增多,跳闸回路的延时环节相应增加以及组网的通信模式使二次回路中的延时不确定性增加,这些因素对继电保护产生着不可忽视的影响。本文首先分析智能变电站二次回路中所存在的延时环节,再针对二次回路中信息传输的形式提出对整个回路延时的检测方法和实验方案。该实验方案不仅可以实现对二次回路整体延时特性的测试,还能完成对单个装置的检测,且测试仪器利用 GPS 同步时钟校时,不依赖站内时钟,时钟精度高,测量准确。最后给出一组采用本文实验方法的测试仪器的测量结果,实验表明测试仪器能够完成对智能变电站内单个装置、多个装置以整条回路的精密测量。本文提出的二次回路延时检测方案,测量精度高、操作简单、易于实现,对二次回路中装置的运行维护具有一定的指导意义。

### 参考文献

- [1] 郭智慧. 综自变电站继电保护二次回路的检测设计[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.  
GUO Zhihui. Design on secondary loop detection for relay protection system of integrated automation[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015.
- [2] 刘映尚, 陶文伟, 周凯, 等. 基于变权物元可拓模型的二次设备状态综合评价[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(8): 80-85.  
LIU Yingshang, TAO Wenwei, ZHOU Kai, et al. Comprehensive evaluation on secondary equipment condition based on matter-element extension model with variable weight[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(8): 80-85.
- [3] 袁浩, 屈刚, 庄卫金, 等. 电网二次设备状态监测内容探讨[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(12): 100-106.  
YUAN Hao, QU Gang, ZHUANG Weijin, et al. Discussion on status monitoring of two equipment in power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(12): 100-106.
- [4] 陶伟龙, 韩光, 傅浩, 等. 基于多路开关量检测的变电站二次回路校验方法[J]. 电工技术, 2017(7): 17-18.  
TAO Weilong, HAN Guang, FU Hao, et al. The secondary circuit check method for substation based on multiple switch quantity detection[J]. Electric Engineering, 2017(7): 17-18.
- [5] 李岩, 赵立军. 智能变电站二次调试方法研究[J]. 东北电力技术, 2012(7): 42-45.  
LI Yan, ZHAO Lijun. Study on the two debugging methods of intelligent substation[J]. Northeast Electric Power Technology, 2012(7): 42-45.
- [6] 蔡骥然, 郑永康, 周振宇, 等. 智能变电站二次设备状态监测研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6):

- 148-154.  
CAI Jiran, ZHENG Yongkang, ZHOU Zhenyu, et al. A survey of research on secondary device condition monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 148-154.
- [7] 蓝海涛. 智能变电站继电保护二次安全措施规范化的建议[J]. 智能电网, 2014, 1(1): 62-66.  
LAN Haitao. Measures to regulate the safety of the secondary devices in intelligent substation relay protection[J]. Smart Grid, 2014, 1(1): 62-66.
- [8] 姜振超, 刘明忠. 智能变电站二次设备系统级调试方法探讨[J]. 四川电力技术, 2012, 35(2): 1-3.  
JIANG Zhenchao, LIU Mingzhong. Debugging method of the upgrade of intelligent substation equipment system[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2012, 35(2): 1-3.
- [9] 孙奕. 智能变电站二次系统调试方法研究[J]. 科技创新与应用, 2015(1): 92-95.  
SUN Yi. Study on debugging method of two times system in intelligent substation[J]. Science and Technology Innovation and Application, 2015(1): 92-95.
- [10] 叶远波, 孙月琴, 黄太贵, 等. 继电保护相关二次回路的在线状态检测技术[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(20): 108-113.  
YE Yuanbo, SUN Yueqin, HUANG Taigui, et al. On-line state detection technology of relay protection relevant secondary circuits[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(20): 108-113.
- [11] 修黎明, 高湛军, 黄德斌, 等. 智能变电站二次系统设计方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(22): 124-128.  
XIU Liming, GAO Zhanjun, HUANG Debin, et al. Intelligent substation two system design method[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(22): 124-128.
- [12] 徐晓春, 汤同峰, 赵雨田, 等. 智能变电站二次设备检修安措规则数据库设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(2): 111-116.  
XU Xiaochun, TANG Tongfeng, ZHAO Yutian, et al. Design and implementation of maintenance protection rule database for secondary equipment of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(2): 111-116.
- [13] 李宝伟, 倪传坤, 李宝潭, 等. 新一代智能变电站继电保护故障可视化分析方案[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(5): 73-77.  
LI Baowei, NI Chuankun, LI Baotan, et al. Fault visualization analysis scheme for relay protection of new generation intelligent substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(5): 73-77.
- [14] 徐长宝, 庄晨, 蒋宏图. 智能变电站二次设备状态监测技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 127-131.  
XU Changbao, ZHUANG Chen, JIANG Hongtu. Technical research of secondary equipments' state monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 127-131.
- [15] 李妍, 车勇, 单强, 等. 智能变电站二次系统在线监测评估的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 66-70.  
LI Yan, CHEN Yong, SHAN Qiang, et al. Research on secondary system on-line monitoring and evaluation in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 66-70.
- [16] 张佳敏, 袁宇波, 卜强生, 等. 非接触式 TA 二次回路多点接地检测方法[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(10): 128-132.  
ZHANG Jiamin, YUAN Yubo, BU Qiangsheng, et al. Contactness detection of multi-point grounding in CT secondary circuit[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(10): 128-132.
- [17] 周大洲, 张国辉, 李静, 等. 交流二次回路检测方案探讨[J]. 电工技术, 2012(7): 36-37.  
ZHOU Dazhou, ZHANG Guohui, LI Jing, et al. Discussion on the AC secondary loop detection[J]. Electric Engineering, 2012(7): 36-37.
- [18] 李晓辉, 李旭东, 宋小舟. 智能变电站继电保护数据采样和信息交换规范的研究[J]. 电气应用, 2012(17): 60-63.  
LI Xiaohui, LI Xudong, SONG Xiaozhou. Research on secondary system on-line monitoring and evaluation in smart substation[J]. Electric Application, 2012(17): 60-63.
- [19] 石娜, 金心宇. 基于分布式同步授时技术的二次压降检测设计[J]. 仪表技术与传感器, 2008(10): 88-90.  
SHI Na, JIN Xinyu. Design of measuring secondary voltage drop based on distributed synchronizing clock[J]. Instrument Technique and Sensor, 2008(10): 88-90.
- [20] 李建平. 变电站调试对二次回路隐性故障的影响分析[J]. 电子科技, 2013, 26(6): 64-65.  
LI Jianping. Effect of substation commissioning on hidden failures of the secondary circuit[J]. Electronic Science & Technology, 2013, 26(6): 64-65.

收稿日期: 2017-11-27; 修回日期: 2018-01-28

作者简介:

姚庆华(1970—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为继电保护及自动化技术管理等; Email: 71659334@qq.com

董林会(1971—), 女, 学士, 工程师, 研究方向为电力营销与电力工业技术等。

(编辑 张爱琴)