

数字化变电站继电保护适应性研究

李仲青¹, 周泽昕¹, 黄毅², 周春霞¹, 詹荣荣¹, 李明¹, 杜丁香¹

(1. 中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192; 2. 天津市电力公司, 天津市 河北区 300010)

Research on Applicability of Relay Protection in Digital Substations

LI Zhongqing¹, ZHOU Zexin¹, HUANG Yi², ZHOU Chunxia¹, ZHAN Rongrong¹, LI Ming¹, DU Dingxiang¹

(1. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China;

2. Tianjin Electric Power Corporation, Hebei District, Tianjin 300010, China)

ABSTRACT: According to results of dynamic simulation on system-level networking of secondary equipments in digital substation, that is carried out in dynamic laboratory of simulation center owned by State Grid Corp. of China, following issues, such as the networking scheme for process level of digital substation, the rapidity of the action of protective relays, the adaptability of protective relays to the coordination among electronic instrumental transformers based on various principles and manufactured by different suppliers, the adaptability of protective relays to abnormal conditions of electronic instrumental transformers, the scheme of sampling and synchronization of electronic instrumental transformers, the data synchronization of current differential protection among digital substations and so on, are analyzed and schemes coping with these issues are proposed. Finally, an improved scheme for system-level dynamic simulation to test the networking of digital substation is given.

KEY WORDS: digital substation; communication network of process level; electronic instrumental transformer; protective relays; dynamic simulation

摘要: 结合国家电网仿真中心动态模拟实验室所进行的数字化变电站二次设备系统级、网络化动态模拟试验结果, 分析了数字化变电站过程层的组网方案、继电保护装置的动作快速性问题、继电保护装置对多厂家多原理电子式互感器配合工作的适应性、继电保护装置对电子式互感器异常情况的适应性、电子式互感器采样同步方案、变电站间电流差动保护的数据同步问题, 并提出了应对方案, 最后提出了改进的数字化变电站系统级网络测试的动模试验方案。

关键词: 数字化变电站; 过程层通信网络; 电子式互感器; 继电保护; 动态模拟

0 引言

保护装置作为变电站内最主要的二次设备, 其功能和性能一直受到广泛关注, 数字化变电站内电子式互感器和网络化通信二次回路的采用, 特别是

电子式互感器相对于电磁式互感器的诸多优点, 为继电保护技术中长期难于解决的一些问题(如电磁式电流互感器饱和引起的差动保护区外误动、瞬时值差动保护技术的发展应用及行波保护技术的发展应用等)提供了新的途径^[1-5]。电子式互感器的采用及变电站过程层的网络化是数字化变电站的重要特征, 数字化变电站依靠高速、可靠、开放的通信网络技术, 克服了传统变电站电缆二次接线复杂、抗干扰能力差、系统扩展性差等缺点, 实现信息共享, 为相关设备的智能化创造了条件。这一切为继电保护技术的发展带来了新的机遇。但同时电子式互感器的稳定性、电子式互感器合并单元的采样同步性、过程层网络的安全可靠性等问题也会影响到保护装置的可靠性及快速性等, 尤其在相关技术应用的初期。继电保护装置在数字化变电站中的应用受网络交换机、电子式互感器、光纤通道等各种技术的限制, 因此研究通信网络及互感器特性对保护的影响及其解决方案是保证继电保护装置可靠、高效运行, 减少不必要的工程投资的必要途径。本文结合数字化变电站二次设备系统级网络化动态模拟试验的研究结果, 分析了数字化变电站继电保护应用中的相应问题, 并给出了解决建议。

1 过程层组网方案

以太网基本结构主要有总线型、星型、环型 3 种。数字化变电站过程层网络需兼顾安全稳定性、拓展性和经济性等因素, 而安全稳定性是各项指标的重中之重, 数字化变电站过程层网络通信多采用星型拓扑结构。星型拓扑对网络交换机的可靠性要求很高, 一旦网络交换机发生故障, 部分甚至全网工作将受到影响。为提高通信可靠性, 对 220kV

及以上电压等级的数字化变电站,过程层通信网络需采用双网冗余配置,双网在物理连接上完全独立,过程层网络中的保护、合并单元及智能操作单元等智能电子设备(intelligent electronic device, IED)均采用双套分别配置于双网中。同时应加强网络异常状况监控水平,及时发现解决网络异常情况,以避免出现站内一次设备由于网络原因失去保护的情况。

数字化变电站过程层与间隔层传送的数据类型众多,包括采样值和面向通用对象的变电站事件(generic object oriented substation event, GOOSE)报文等,它们都有很高的实时性要求,而 GOOSE 报文的信息流量具有不确定性,如在系统出现短路故障及相应操作时 GOOSE 信息量会突发性增加。为提高网络性能,避免通道堵塞,应通过虚拟局域网(virtual local area network, VLAN)划分、组播注册协议(GARP multicast registration protocol, GMRP)等技术的应用对过程层网络进行合理构建,同时对各种信息流进行优先级分类,以确保关键应用和实时性要求高的信息流的优先传送^[6-8]。在过程层组网方式应用初期,可考虑将采样值与 GOOSE 报文分开组网的方式,以便运行维护及相关经验的积累。

2 继电保护对电子式互感器及通信网络的适应性研究

2.1 保护与不同厂家/不同原理的电子式互感器配合使用问题

目前,数字化变电站工程中应用的电子式互感器按供能方式可分为有源式及无源式,按原理可分为基于 Rogowski 线圈原理及基于光学原理的电子式互感器^[9-10]。尽管 IEC/60044-8 标准对电子式互感器数据采集传感的准确性和实时性有明确要求,但由于原理及不同厂家工艺技术的差异,不同厂家的电子式互感器(尤其是电子式电流互感器)的处理延时(包括合并单元的延时)及量程等指标存在差异。

1) 测量延时差异。

图 1 所示为录波器在同一时刻记录的 2 个厂家的电子式电流互感器测量的电流相量,换算后保护接收的 2 个电流互感器测量结果延时相差 0.5ms。

为避免这种误差对继电保护(尤其是差动保护)带来的影响,工程应用前必须对电子式互感器的测量延时进行严格检测,而对于延时差异,保护装置可以考虑加入可设定的延时补偿功能,对不同互感器间的固有延时差异进行补偿。

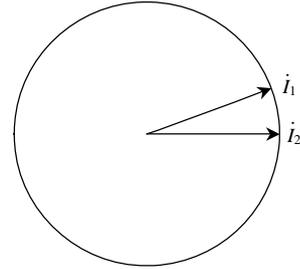


图 1 不同厂家电子式电流互感器测量的电流相量
Fig. 1 Vector diagram of the currents measured by electronic current transformers from different manufacturers

2) 量程差异。

当测量值超过电子式互感器测量输出范围时,互感器输出量程上限或下限值,如图 2 所示,电流波形出现“平顶”。若配合应用的不同厂家电子式互感器的测量范围不同,当测量值超过互感器量程后,对于同一测量值则会输出不同的测量结果,这将影响相关保护装置的性能,甚至可能导致电流差动保护误动作。在动态模拟试验过程中,参试电子式电流互感器量程最大差异超过 7%,当将此 2 种互感器用于 3/2 接线方式给线路保护提供电流时,在区外故障短路电流超过两互感器量程时,线路保护出现误动。因此,工程应用中提供给有配合要求的电流差动保护的电子式电流互感器应尽量选择同一厂家的同型设备。

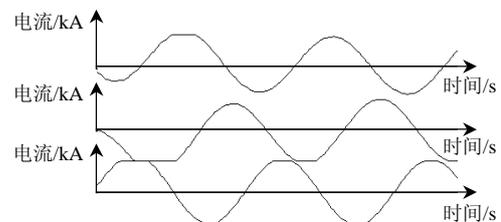


图 2 电子式电流互感器测量电流波形(电流超过测量量程)

Fig. 2 The waveform of the current measured by electronic current transformer (beyond the measurement range)

2.2 过程层网络及电子式互感器对保护动作实时性的影响

数字化变电站过程层组网方式与常规变电站配置方式下的动模对比试验结果显示:在试验环境相同的情况下,数字化变电站过程层组网方式下保护动作时间比相同原理的传统保护装置动作时间长。影响常规保护及数字化保护动作时间的因素如图 3、图 4 所示。

影响数字化保护动作出口延时增大的主要因素是电子式互感器的处理延时、网络延时及保护装

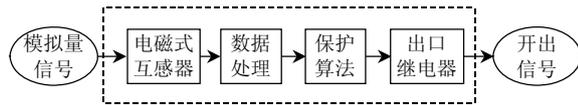


图3 常规保护动作时间的影响因素

Fig. 3 The factors influencing the operation time of conventional protection



图4 数字化保护动作时间的影响因素

Fig. 4 The factors influencing the operation time of digital protection

置为适应采样值延时而设置的时间裕度等。针对以上因素，可考虑通过改善以下环节缩短保护出口动作时间：

1) 提高电子式互感器的相应技术，以最大限度减小电子式互感器总的处理延时。

2) 改进保护算法，将采样频率调整为互感器发送采样数据频率的整除倍数，减少数据处理环节重新插值采样所需时间。

3) 在数字化变电站规划中优化过程层网络结构设计，提高过程层网络通信的实时性。

2.3 继电保护应对电子式互感器数据异常的方案

电子式互感器异常可能导致所传送的采样数据出现畸变的情况。当数据异常是由电子式互感器的可判故障等因素引起时，保护可通过判别合并单元发送的采样数据的品质位进而判断数据的有效性；但当数据异常是由互感器电子器件受到外界干扰等因素引起时，合并单元所发送数据的品质位仍然置有效状态，此时若保护装置处理不当，可能引起装置的误动作等情况。因此，当电子式电流互感器异常情况下传送畸变数据时，保护装置应具有一定的判别能力，当连续畸变数据持续时间在一定范围内，保护装置不应出现误动，而具体时间范围须结合实际运行经验合理选择。针对采样数据畸变的问题，除考虑改进保护故障判别算法外，还可从以下几方面考虑解决措施：

1) 加强对电子式互感器的入网检测，提高对电子式互感器稳定性的相关要求。

2) 电子式互感器中用于测量的传感元件及数据采集系统与用于保护的传感元件及数据采集系统彼此独立，合并单元发送的每帧数据中同时包含用于保护和测量的采样值，因此保护算法可通过引入测量数据与保护数据的对比完成对接收的采样数据的监控，如果只有一个数据出现突变相应保护

不启动。

3) 电子式互感器保护用传感元件由2路独立的数据采集系统进行采集，2路采集系统的输出接入同一合并单元，发送给保护装置，保护装置将2组数据分别用于启动及动作判别逻辑运算中，以确保当只有一组数据出现异常突变时，不会误动作出口。

4) 根据基尔霍夫电流定律，同一节点流入流出的电流矢量和为零，在过程层采样值组网情况下，保护装置可利用过程层数据共享的优点，通过采集同一节点的其他电流，并进行相关计算，完成对保护算法所用电子式电流互感器采集电流的监控^[1]，如果两者不一致则不启动保护。

上述方法1)是从加强对电子式互感器稳定性的要求入手，方法2)、3)、4)则是从保护及互感器综合考虑。方法2)不需增加硬件投入，只需在保护算法中加入对相应测量值的监控；方法3)硬件上需额外增加数据采集系统，同时合并单元发送的采样值需增加相应数据，数据帧格式上要做出调整；方法4)利用了采样值组网的优点，但前提是相应节点各分支均安装有电子式电流互感器，同时在保护算法上做出相应处理，但节点内其他分支的电子式电流互感器出现畸变数据时可能造成保护装置拒动。而且，方法4)应尽量优化相应算法，以减小由此增加的运算时间。

2.4 数字化变电站继电保护及电子式互感器的采样同步问题

传统变电站采用电磁式互感器进行电气量测量，保护装置通过装置内的A/D对数据进行相应处理，数据延时很小，可以忽略。数字化变电站电子式互感器及网络设备的应用，导致数据采集传输延时增大，同时，各厂家电子式互感器、合并单元及网络接口等环节处理技术的差异，导致传送数据的时序特性的差异，采样延时不同。对于过程层组网方式，以太网传输延时的不确定性也是影响时序特性的重要因素。因此，数字化变电站数据采集的同步处理至关重要，消除因时钟同步差异及传输延时造成的影响，有效识别数据的准确采样时刻，是数字化变电站间隔层与过程层实现数据同步的关键。对于数字化变电站采样数据的同步处理，可以考虑以下几种方式：

1) 站内统一时钟法。该方式下变电站内配置统一外部时钟源，用作电子式互感器(合并单元)数据采集的同步源。所采用的外部时钟源包括同步卫星

时钟信号,如GPS、北斗、伽利略卫星等,也可考虑铷钟、铯钟等高精度电子钟及基于同步数字体系(synchronous digital hierarchy, SDH)光纤网络的时间同步方式的应用,以增强外部时钟源的可靠性。

2) 电子式互感器通过合并单元插值计算,进行采样数据的同步处理^[12]。保护装置也可通过插值算法对所接收的相应数据进行插值同步处理。

3) 保护装置作为相应电子式互感器数据采集的同步源,以解决同一保护装置相关电子式互感器的采样数据同步问题。

方式1)在目前的数字化变电站中应用较多,同步精度较高,可以满足保护装置对数据同步性的要求,同时也可满足站间同步及广域网络同步的要求,但该方式中外部时钟源成为变电站运行的重要因素,时钟源的有效及稳定性至关重要。因此,在选用卫星同步信号作为同步时钟源的同时,可考虑高精度的电子钟(铷钟、铯钟等)的使用,但高精度电子钟的应用会增加工程投资,且目前在电力系统中应用较少,需进一步深入研究相关方案。

方式2)中合并单元将接入的多个电子式互感器的采样数据通过插值计算进行数据同步,并发送同步后的采样数据,保护通过插值将接收的数据进行同步处理,该方式最大的优点是不需要外部同步源,在节省变电站投资的同时,大大提高了安全性。但插值同步法不可避免地会引入方法误差,且对高次谐波的插值误差增大,会对要求高次谐波参与运算的保护算法造成影响,同时插值计算的结果与参与计算的离散数据点个数相关,数据点越多则插值结果精度越高,但数据窗增大,等待时长增加,数据运算量也大幅增加,数据总体处理延时增加。而且,插值计算前需要确定各路数据的接收时间,因此对于传输延时比较固定的点对点通信方式可以使用,但不适用于采样值组网传输方式。

方式3)由保护装置作为电子式互感器采样的同步源,以保证同一保护装置所用各路电气量采样值的同步性,该方式也不需要外部时钟源,还可完全满足保护计算所需的同步精度,但各保护装置需要相对应的合并单元,工程投资大为增加,同时该方法也不适用于采样数据共享的采样值组网方式。

3 变电站间电流差动保护同步配合方案

线路电流差动保护正确动作的前提是线路两侧保护装置采样数据的同步性。线路两侧为传统变

电站时,电流差动保护常用的数据同步方法有采样时刻调整法、时钟校正法、参考向量法、插值法及GPS同步法等,而实际应用中考虑到同步效果、计算量大小及安全风险等因素的影响,应用较多的有采样时刻调整法和时钟同步法。但在数字化变电站中,交流采样由电子式互感器完成,全站合并单元通过外部同步源保持同步(目前多为此方式),不能通过保护装置调整合并单元的采样同步,因此当线路两侧为数字化变电站或分别为数字化变电站与传统变电站时,线路电流差动保护需要对同步问题提出新的解决方案,这也是数字化变电站线路电流差动保护配合使用的关键问题。目前,数字化变电站线路电流差动保护对于数据同步的处理主要有以下2种方式:

1) 数字化变电站线路电流差动保护算法不需接收外部同步信号的方式。

由于数字化变电站中电子式互感器传送给保护的采样值带有一定的延时,因此保护装置在不接收外部同步信号的情况下若要保证所用数据的同步误差在允许范围内,必须计算出电子式互感器采集数据到保护接收到采样数据之间的延时。当电子式互感器与保护装置间采用点对点通信方式时,该延时相对固定,因此线路保护不需要外部同步信号仍可较准确地确定所收到的采样数据对应的采样时刻,同时保护装置可以保持与合并单元的同步性。

不需接收外部同步信号的数字化变电站线路电流差动保护与传统保护之间可通过采样时刻调整法、时钟校正法及插值法等实现两侧数据的同步。

2) 数字化变电站线路电流差动保护算法需接收外部同步信号的方式。

这种方式通常应用于采样值通过过程层网络传输的变电站中。由于保护装置与合并单元接收相同的同步信号,在同步源工作正常的情况下保护装置与合并单元始终保持同步状态,因此保护装置可以比较准确地确定所接收采样值的采样时刻。数字化变电站线路电流差动保护与传统保护间的同步方式同方式1)。

方式1)在应用于电子式互感器与保护之间采用点对点通信方式时,既可以使得保护算法不依赖于外部同步源,又能保证保护装置接收采样数据的同步精度。但当数字化变电站过程层采样值采用组网方式传送时,保护接收到采样数据的延时除电子式互感器输出采样值的处理延时和光纤通道的传

输延时外，还包括过程层网络处理延时，而过程层网络延时具有不确定性，因此保护装置需通过时时检测所接收的采样值延时的变化情况以确定网络延时的稳定性。在这种情况下，保护装置对网络状况的反应变得更加敏感，在网络延时变化时，为保证保护装置的可靠性，需要闭锁电流差动保护，待网络恢复稳定后再重新开放差动保护。对于网络延时的不确定性，变电站设计时应充分考虑网络稳态数据延时时间及相应保护设备所允许的最大延时裕度，同时应提出保护装置处理网络延时越限等偶发情况的处理机制。

方式2)中由于保护装置与合并单元保持同步，且合并单元采样频率固定，因此保护装置对过程层采样值网络延时变化的适应程度较方式1)提高了，但由于保护装置的相应算法需要外部同步信号，因此增加了保护装置的安全风险，当同步信号出现异常时差动保护则必须闭锁。

4 数字化变电站继电保护动态模拟测试方案

随着电子式互感器及过程层组网方式的应用，变电站二次系统的高效、合理、可靠性已不仅仅由单装置的性能决定，二次系统网络及各装置间的配合工作能力同样至关重要，因此数字化变电站工程中继电保护装置的安全可靠性检测已从传统保护装置的单装置检测方式转变成全站二次系统集中性能测试，检测方法也必须针对电子式互感器及网络化的特点增加更有针对性的测试项目^[13-14]，以保证数字化保护在网络系统中的可靠运行，数字化变电站继电保护的测试应是系统级的网络化测试。

数字化保护动态模拟测试应既可用于测试评估数字化保护在特定电网环境中的应用性能，也可用于考核数字化保护在数字化变电站系统中的整体功能及性能指标是否满足设计目标及应用要求，数字化保护测试方法至少应涵盖如下内容：

- 1) 根据具体要求模拟特定电网系统中的数字化变电站系统。
- 2) 模拟典型数字化变电站系统及典型组网方式。
- 3) 模拟各种电气故障，测试数字化保护在系统出现故障时的性能。
- 4) 模拟测试电子式互感器及通信网络可能出现的异常情况，测试数字化保护的运行性能。

数字化保护测试的主要指标同样由保护动作的可靠性、选择性、灵敏性及快速性来反映，而变

电站内多间隔多类型的电子式互感器的同时应用，也对保护的适应性提出了新的要求。同时，数字化保护为适应电子式互感器及过程层网络的各种极端情况，保证保护装置的可靠性，较之传统保护增加了诸多闭锁机制，因此，数字化保护测试要有针对性地测试相应闭锁机制的合理性，实现在能够保证保护装置可靠工作的前提下，尽量延长保护的有效性工作时间。因此，数字化保护测试在保留传统测试方法的基础上，要增加针对电子式互感器及过程层网络异常情况适应能力的测试手段：

- 1) 过程层网络交换机性能测试及交换机负载变化情况下保护性能测试。
- 2) 站内多间隔多原理电子互感器配合使用情况下保护性能测试。
- 3) 站间线路电流差动保护性能测试，包括采用不同的保护配置方式、时钟同步方式等。
- 4) 数字化保护装置对采样数据的同步性要求及同步异常情况下的处理机制的测试。
- 5) 数字化保护装置对自身及合并单元同步要求及异常情况下的处理机制的测试。
- 6) 数字化保护装置对采样值中无效数据的处理机制测试。
- 7) 数字化保护装置所接收的采样值数据出现畸变时的性能测试。
- 8) 数字化保护装置对所接收的采样值数据出现丢帧情况时处理机制的测试。
- 9) 数字化保护装置对所接收采样值数据延时的要求及延时越限时的处理机制的测试。

5 结语

本文分析数字化变电站过程层网络的特点，结合动模试验结果，讨论了电子式互感器的应用对继电保护装置可能造成的影响，并结合数字化变电站中的应用条件，提出相应解决方案，还提出了改进的数字化变电站继电保护动模测试方案及应进行的测试项目。

目前数字化保护装置在很大程度上仍沿用传统保护的设计思想，如何应对过程层网络应用所带来的安全、可靠性问题，过程层网络结构合理性问题，多间隔电子式互感器间的同步问题，以及数据传送的实时性问题等，是当前继电保护应用中要解决的首要问题。而如何将电子式互感器暂态特性好、测量频带宽及网络应带来的信息共享等优点应

用于继电保护,以推动继电保护实用技术的快速发展,则需要进一步深入研究。

参考文献

- [1] 高翔,张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术, 2006, 30(23): 67-71.
Gao Xiang, Zhang Peichao, Main features and key technologies of digital substation[J]. Power System Technology, 2006, 30(23): 67-71(in Chinese).
- [2] 张沛超,高翔. 数字化变电站系统结构[J]. 电网技术, 2006, 30(24): 73-77.
Zhang Peichao, Gao Xiang. System architecture of digitized substation[J]. Power System Technology, 2006, 30(24): 73-77(in Chinese).
- [3] 王志勇,郑海,杨卫星. 基于 IEC61850 标准的 500kV 兰溪数字化变电站建设[J]. 电力建设, 2009, 30(10): 30-32.
Wang Zhiyong, Zheng Hai, Yang Weixing. Construction of IEC61850 based 500 kV Lanxi digital substation[J]. Electric Power Construction, 2009, 30(10): 30-32(in Chinese).
- [4] 李九虎,郑玉平,古世东,等. 电子式互感器在数字化变电站中的应用[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(7): 94-98.
Li Jiuhu, Zheng Yuping, Gu Shidong, et al. Application of electric instrument transformer in digital substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(7): 94-98(in Chinese).
- [5] 滕林,刘万顺,李贵存,等. 光学电流互感器及其在继电保护中的应用[J]. 电网技术, 2002, 26(1): 31-33.
Teng Lin, Liu Wanshun, Li Guicun, et al. Optical current transducer and its application in protective relaying[J]. Power System Technology, 2002, 26(1): 31-33(in Chinese).
- [6] 李强,窦晓波,吴在军,等. 数字化变电站通信网络规划与实时特性改进[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(5): 73-77.
Li Qiang, Dou Xiaobo, Wu Zaijun, et al. Communication network of digital substation and improvement of real-time performance[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(5): 73-77(in Chinese).
- [7] 徐成斌,孙一民. 数字化变电站过程层 GOOSE 通信方案[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 91-94.
Xu Chengbin, Sun Yimin. A communication solution of process layer GOOSE in digitized substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 91-94(in Chinese).
- [8] 窦晓波,胡敏强,吴在军,等. 数字化变电站通信网络性能仿真分析[J]. 电网技术, 2008, 32(17): 98-104.
Dou Xiaobo, Hu Minqiang, Wu Zaijun, et al. Simulation analysis on performance of communication networks in digital substations[J]. Power System Technology, 2008, 32(17): 98-104(in Chinese).
- [9] IEC60044-8. Instrument transformers, part 8: electrical current transducers[S]. 2002.
- [10] 徐大可,赵建宁,张爱祥. 电子式互感器在数字化变电站中的应用[J]. 高电压技术, 2007, 33(1): 78-82.
Xu Dake, Zhao Jianning, Zhang Aixiang. Application of electronic transformers in digital substation[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(1): 78-82(in Chinese).
- [11] 于军,熊小伏,张媛. 数字化变电站保护系统可靠性新措施及仿真[J]. 电网技术, 2009, 33(4): 28-33.
Yu Jun, Xiong Xiaofu, Zhang Yuan. Research and simulation on new reliability measures for digital substation protection system[J]. Power System Technology, 2009, 33(4): 28-33(in Chinese).
- [12] 周斌,鲁国刚,黄国方,等. 基于线性 Lagrange 插值法的变电站 IED 采样值接口方法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(3): 86-90.
Zhou Bin, Lu Guogang, Huang Guofang, et al. A sampled values interface method for substation IED based on linear Lagrange interpolation algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(3): 86-90(in Chinese).
- [13] 赵康伟,徐志强,周田华,等. 数字化变电站电子式电流互感器精度测量[J]. 电力建设, 2010, 31(6): 54-57.
Zhao Kangwei, Xu Zhiqiang, Zhou Tianhua, et al. Precision measurement of electronic current transducer in substation[J]. Electric Power Construction, 2010, 31(6): 54-57(in Chinese).
- [14] 周春霞,詹荣荣,姜健宁,等. 500 kV 数字化变电站动模试验研究[J]. 电网技术, 2010, 34(10): 90-92.
Zhou Chunxia, Zhan Rongrong, Jiang Jianning, et al. Dynamic simulation test for 500 kV digital substation[J]. Power System Technology, 2010, 34(10): 90-92(in Chinese).



李仲青

收稿日期: 2010-11-22。

作者简介:

李仲青(1978),男,硕士,工程师,从事继电保护及动态模拟的研究工作, E-mail: lzqing@epri.sgcc.com.cn;

周泽昕(1969),女,博士,高级工程师,从事电力系统继电保护及安全自动装置的技术研究;

黄毅(1970),男,高级工程师,从事电力系统

继电保护及安全自动装置的运行管理工作;

周春霞(1965),女,高级工程师,从事电力系统继电保护及动态模拟研究工作;

詹荣荣(1978),女,硕士,工程师,从事电力系统继电保护、动态模拟及实时数字仿真研究工作;

李明(1983),男,硕士,工程师,从事电力系统继电保护及动态模拟研究工作;

杜丁香(1977),女,硕士,工程师,从事电力系统继电保护、动态模拟及实时数字仿真研究工作。

(责任编辑 李兰欣)