DOI: 10.7667/PSPC151900

基于站域保护的变压器中性点地刀智能切换技术研究

田 伟[1]，刘 更[1]，原宇光[1]，彭 宇[1]，宋晓亮[2]

(1.国网黑龙江省电力公司，黑龙江 哈尔滨 150090；2.长园深瑞继保自动化有限公司，广东 深圳 518057)

摘要：为了对变电站内变压器中性点接地进行有效的管理，确保电网零序网络基本稳定，在研究新一代智能变电站保护控制技术的基础上，提出了一种基于站域保护实现的变压器中性点地刀智能切换技术。该技术充分利用了站域保护的标准化信息交互共享机制，通过对智能切换的逻辑原理及其具体实现方式的研究，实现接地刀闸的快速、可靠、自动控制。分析表明该智能切换技术解决了传统方式现场操作复杂、施工繁琐、存在诸多安全隐患等问题。该技术可有效地实现变电站内变压器中性点地刀控制的数字化、自动化、信息化，能够有效提高电力系统的运行控制能力。

关键词：智能变电站；站域保护；变压器；中性点；接地刀闸；智能切换

Research on the smart switching technology of transformer neutral point earthing switch based on substation protection

TIAN Wei[1], LIU Geng[1], YUAN Yuguang[1], PENG Yu[1], SONG Xiaoliang[2]

(1. Heilongjiang Electric Power Company, Harbin 150090, China; 2. CYG SUNRUI Co., Ltd., Shenzhen 518057, China)

Abstract: In order to realize the efficiency management of the transformer neutral point earthing in substation, and the zero-sequence network stability, based on the research of the new generation protection and control technology of smart substation, one transformer neutral point earthing switch's smart switching method which is realized based on substation protection technology is proposed. This method takes full advantage of the standard information exchange and sharing mechanism of the substation protection, the study of the smart switching principle and the specific implementation finally comes to the achievement of the earthing switch's fast, reliable and automatic control. The analysis shows that this method can solve the problems of traditional ways, for one thing, the complex operation, the complicated construction and the security risks. In a word, this method can effectively realize the digitalization, automation and informatization of the neutral point of the transformer in the substation, which can improve the operation control of the power system availably.

Key words: smart substation; substation protection; power transformer; neutral point; earthing switch; smart switching

0 引言

对于110 kV及以上电压等级的中性点直接接地系统，中性点直接接地的变压器数目，直接影响整个网络零序电流的大小和分布，进而影响零序过流保护的适应性和整定计算[1]。因此,《电力行业标准》明确规定，变电站的运行管理，必须确保电网零序网络的基本稳定[2]。

对于变压器中性点直接接地的变电站，通常通过变压器中性点地刀的位置，来判断其是否直接接地，通过操作地刀的分合，来实现中性点直接接地的变压器切换。因此，变压器中性点地刀的管理，主要是变压器中性点地刀的位置识别，以及对变压器中性点地刀的操作控制。

目前，中性点地刀的管理主要有两种方式，第一种为现场操作方式，即值班人员到现场确认中性点地刀的位置状态，人工去分合中性点地刀，这种方式操作过程复杂，操作时间长，在变电站出现事故时，往往因忙于事故处理而忽略了中性点地刀的操作，甚至会造成扩大事故，此外，这种方式操作人员的人身安全也得不到保障；第二种为传统的自动化管理方式，这种方式需要装置采集开入量、模拟量，控制出口回路，这样就需要有较多电缆接入自动化控制装置，过程复杂，施工繁琐，不利于长期推广应用。

为了最大限度的降低事故风险，简化操作施工过

程，同时充分利用数字信息化技术的优势，提高控制的可靠性，本文提出一种基于以多源信息实时共享为基础的站域保护的变压器中性点地刀智能切换技术，这种方式能够充分利用全站的实时数据资源，不仅可以避免过多电缆接入保护装置，还实现了中性点地刀控制的数字化、信息化。

1　中性点地刀智能切换技术的可行性分析

新一代智能变电站，是系统高度集成化，一体化服务的变电站，通过整合系统资源，优化结构配置，让变电变得更加智能、稳定、可靠、合理。站域保护设备，是新一代智能变电站站域层主要的保护设备，依据标准化信息交互共享机制，获取全站信息量，通过多信息冗余算法，判别变电站整体运行状态，识别故障信息，实现全站层面的保护和控制协调功能。

站域保护是基于变电站全局视角的保护和控制功能的实现，与传统的保护相比，具有以下优势：① 基于全站多源信息，能够获得更多故障信息特征，有助于改进保护性能；② 综合判断全站运行状态，优化全站控制功能；③ 优化和简化保护控制结构，实现区域电网的整体保护和控制。

变电站不同的运行状态，所需要中性点直接接地的变压器数目不同，变压器中性点地刀的切换操作，是基于全站视角出发的，站域保护采集了全站多源信息，具有高度集成度，能够成功识别全站的不同运行状态，所以，在站域保护中实现中性点地刀的智能切换是可行的。此外，在站域保护中，已经成功开发了备自投、失灵保护、低频低压减载等多种跨间隔保护，具有成功应用的先例[3-6]。

2　中性点地刀智能切换技术的逻辑原理

在东北电网 220 kV 变电站中，一般以主接线配置两台三圈变，高压侧双母线接线，高压侧需要中性点接地的情况居多[7]，现以这种较为普遍的情况为例进行分析，研究结论可推广并适用于其他主接线形式的厂站。电气主接线如图 1 所示。

变压器中性点地刀智能切换的总体原则为：当中性点直接接地的变压器故障或者跳闸后，自动切换经间隙接地变压器的中性点地刀，使其中性点直接接地，确保全站整个零序网络尽量不变。下面将依此原则详细讨论中性点地刀的切换逻辑。

2.1 输入量

中性点地刀智能切换装置需要采集开入量和模拟量，开入量的采集由智能终端完成，主要需要采集的开入量如表 1 所示。

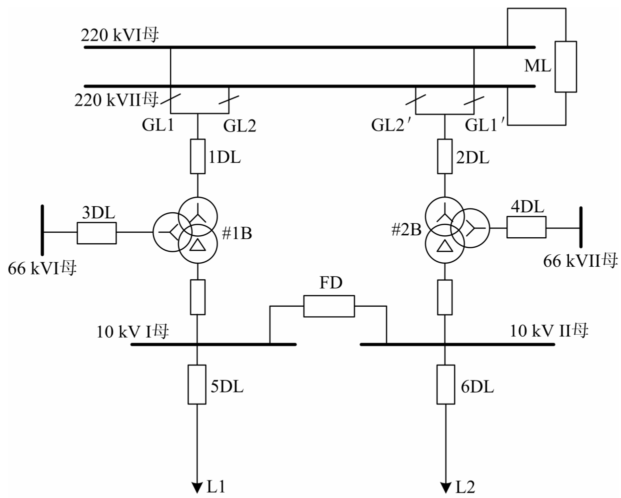

图 1　电气主接线图

Fig. 1 Electrical main wiring diagram

表 1　开入量

Table 1 Input quantity

序号	开入量
1	1#变高侧断路器跳闸位置(1DL)
2	2#变高侧断路器跳闸位置(2DL)
3	1#变中性点地刀合闸位置(1DD)
4	2#变中性点地刀合闸位置(2DD)
5	1#变 01 隔离刀合闸位置(GL1)
6	1#变 02 隔离刀合闸位置(GL2)
7	2#变 01 隔离刀合闸位置(GL1′)
8	2#变 02 隔离刀合闸位置(GL2′)
9	母联断路器跳闸位置(ML)
10	1#变故障开入
11	2#变故障开入

模拟量的采集由合并单元完成，需要采集的模拟量如表 2 所示，其中零序电压通过装置自身计算获得。

表 2　模拟量

Table 2 Analog quantity

序号	模拟量
1	Ⅰ母 A 相电压 U_A
2	Ⅰ母 B 相电压 U_B
3	Ⅰ母 C 相电压 U_C
4	Ⅱ母 A 相电压 U_A
5	Ⅱ母 B 相电压 U_B
6	Ⅱ母 C 相电压 U_C
7	Ⅰ母零序电压(计算)
8	Ⅱ母零序电压(计算)

2.2 运行方式判别

根据如图 1 所示的主接线方式，需要作如下设定，设定 01 号隔离刀固定挂接 I 母，02 号隔离刀

固定挂接Ⅱ母。设定变压器的两种运行状态如下：① 运行变，变压器高侧的断路器处于合位，#1(2)变的 01 隔离刀和 02 隔离刀，至少一个处于合位，判定该变压器处于运行状态；② 接地变，中性点地刀处于合位的运行变压器，即为接地变。

设定系统的主要运行方式如下：① 单母线运行方式，所有挂接在Ⅰ母上的隔离刀位置相同，同时所有挂接在Ⅱ母上的隔离刀位置相同；② 双母线并列运行，两台运行变的情况下，所有挂接在Ⅰ母和Ⅱ母上的隔离刀状态，均不同，且分列压板退出，母联断路器处于合位；③ 双母线分列运行，两台运行变的情况下，所有挂接在Ⅰ母和Ⅱ母上的隔离刀状态，均不同，且分列压板投入，母联断路器处于分位；④ 单台变压器运行，仅有一台运行变。⑤ 没有变压器运行，没有运行变运行。

2.3 充放电逻辑

通过充电逻辑来确认智能切换逻辑需要满足的条件，只有充电完成，智能切换逻辑才能动作。如图 2 所示，充电为“与”逻辑，充电条件为：(1)智能切换功能投入，包括“中性点地刀自投软压板”和“中性点地刀自投控制字”均投入；(2)两台变压器运行，即两台变压器的高侧断路器位置处于合位；(3)两台变压器，一台为接地变，另外一台为非接地变；(4)单母线运行方式，或者双线并列运行方式；(5)不满足放电条件；(6)充电未完成。充电条件满足 10 s 后，智能切换逻辑完成充电。

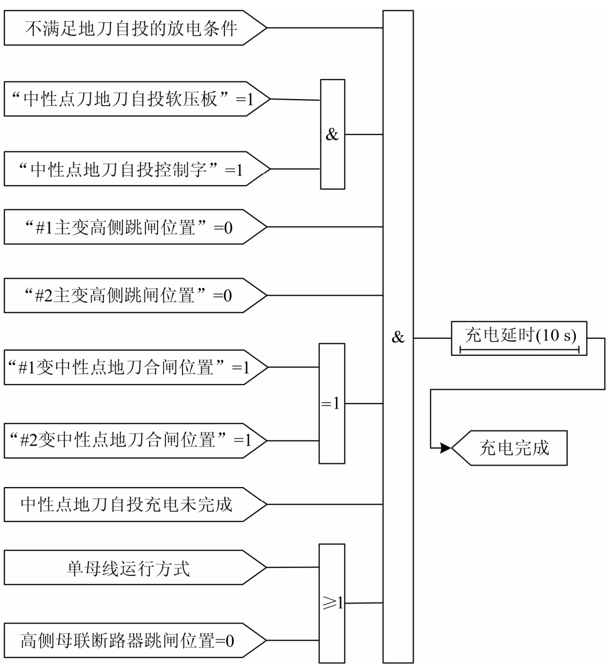

图 2 充电逻辑框图

Fig. 2 Charging logic diagram

智能切换逻辑未启动前，判断放电条件，放电条件为“或”逻辑，即任意放电条件满足，智能切换逻辑放电。放电条件：(1)智能切换功能退出；(2)全站中性点地刀全分/全合闭锁智能切换；(3)非接地变故障或者保护动作跳闸；(4)变压器故障开入闭锁放电；(5)不满足其他充电条件。

2.4 动作逻辑

变压器中性点接地刀闸智能切换逻辑的总体思路为，两台变压器同时运行时，一台接地变，一台非接地变，当接地变故障或者其保护动作跳闸后，通过合上非接地变的中性点地刀，将直接接地点，从原始接地变切换到非接地变的过程，动作逻辑如图 3 所示。

充电完成后，详细智能切换逻辑如下：

(1) #2 变为接地变，#1 变为非接地变。当#2 变的保护动作跳开#2 变高侧断路器后，经“合闸延时”合#1 变中性点地刀。若#1 变的保护动作跳开#1 变高侧断路器，切换逻辑放电；

(2) #1 变为接地变，#2 变为非接地变。当#1 变的保护动作跳开#1 变高侧断路器后，经“合闸延时”合#2 变中性点地刀。若#2 变的保护动作跳开#2 变高侧断路器，切换逻辑放电；

(3) 单母线运行时，按照上述动作逻辑执行。双母线运行时，按照上述动作逻辑执行的同时，当母联位置由跳位变为合位时，合非接地变中性点地刀；

(4) 变压器中性点地刀智能切换动作逻辑，受母线零序电压闭锁逻辑控制，只有在没有零序电压闭锁时才动作自投，只要闭锁条件满足，立即闭锁切换动作逻辑。

2.5 告警提示及闭锁逻辑

电网运行相关规程规定，多台变压器同时运行的变电站，不能无变压器中性点直接接地，也不能多台变压器中性点直接接地[7]。因此，当变电站无变压器中性点直接接地时，设置全站变压器中性点地刀全分告警；当变电站所有变压器中性点直接接地时，设置全站变压器中性点地刀全合告警。全分/全合告警，均同时闭锁智能切换逻辑。分列运行时，若任意母线上，无接地变，作告警提示。全站只有一台变压器运行，若出现运行变不接地，非运行变接地的情况，也将作告警提示。告警的同时，闭锁中性点地刀智能切换逻辑。

2.6 智能切换安全处理措施

为了防止中性点地刀，合于系统接地故障，引起变压器中性点弧光过电压扩大事故[8]，如图 4 所示，设置母线零序电压 $3U_0$ 闭锁措施，零序电压大于整定值时闭锁合闸回路。

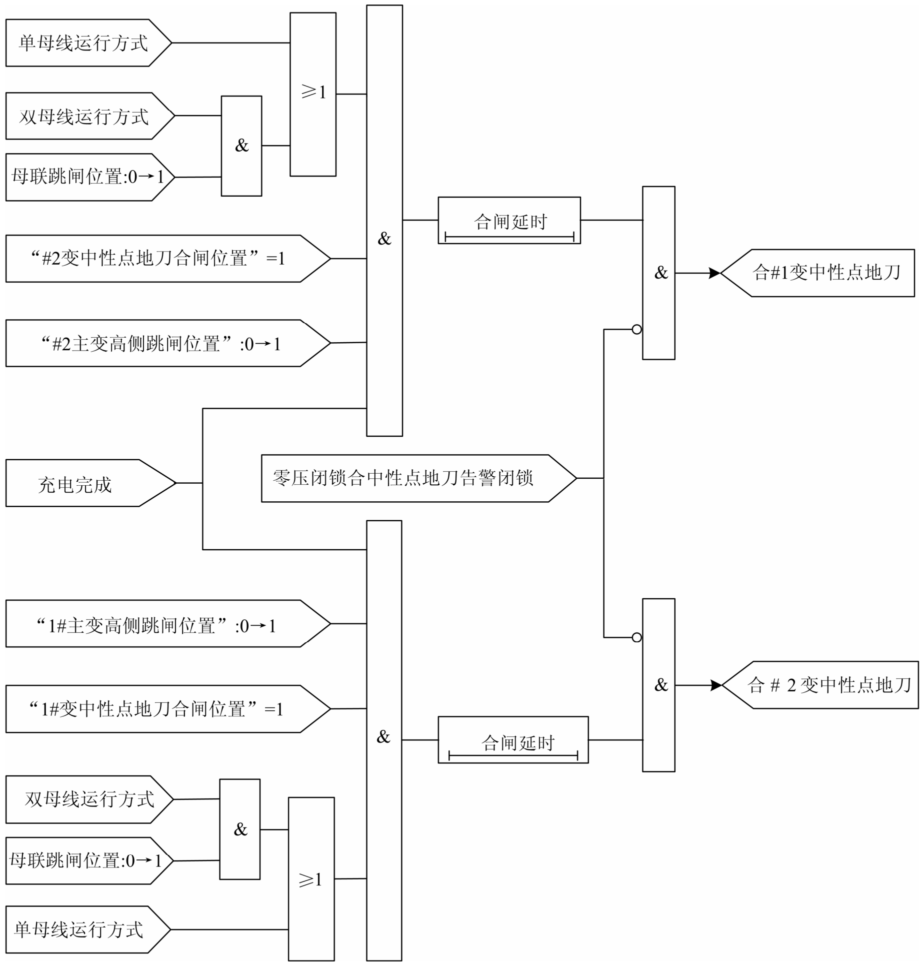

图 3　智能切换动作逻辑框图

Fig. 3 Execution logic diagram of smart switching

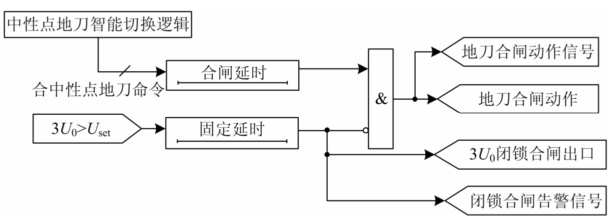

图 4 零序电压闭锁逻辑示意图

Fig. 4 Logic diagram of zero-sequence voltage blocking

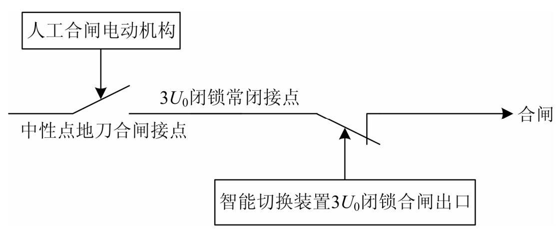

图 5 零序电压闭锁出口接点连接示意图

Fig. 5 Diagram of zero-sequence voltage blocking outlet connection

考虑存在运行人员手动操作变压器中性点地刀合闸回路的可能性，为了保证人身安全，设置 $3U_0$ 闭锁合闸回路措施。如图 5 所示，在人工手动合闸回路里，串联接入由智能终端引出的母线零序电压继电器的常闭接点，$3U_0$ 闭锁判据满足后，出口 $3U_0$ 闭锁，闭锁人工合闸回路。

3　中性点地刀智能切换技术的实现方式

根据变压器中性点地刀智能切换逻辑原理，行业内目前具有以下两种实现方式。

第一，直接将其他保护装置采集的位置接点信息和母线零序电压，送给变电站的后台监控系统(如，微机五防操作系统)，在后台监控系统中实现变压器中性点地刀切换的逻辑。该实现方式比较经济，利用变电站现有的资源，不需要额外接入过多的电缆，但实现环节多，实时性、稳定性、可靠性均不高。

第二，将采集各种状态信息的电缆，直接接入保护装置，由保护装置实现中性点地刀的切换逻辑

功能。这种实现方式，需要采集多间隔的状态信息，接入较多电缆，集成度不高，施工不便，不利于保护的信息化、数字化。

本文提出一种基于站域保护的中性点地刀智能切换方法，实现过程示意如图 6 所示，新一代智能变电站分为就地层、站域层、广域层三层结构[9-12]，在就地层，就地化智能终端采集断路器位置信息，中性点地刀的状态信息，以及挂接在母线上隔离刀的状态等信息，然后传送到过程层交换机(GOOSE 报文)。就地化合并单元采集母线电压，也传送到过程层交换机(SV 报文)[13]。在站域层，交换机再将需要的采集量传送到站域保护装置，完成逻辑算法，一方面将控制中性点地刀的分合的执行信息，通过过程层交换机，反馈给就地化智能终端执行；另一方面，站域保护装置通过站控层交换机，将位置信息、动作信息、告警信息等，传送到广域层的广域保护装置和一体化信息主机。在广域层，广域保护装置可以根据变电站的运行情况，在线优化保护定值；一体化信息主机，可以统计长年变电站的运行工况，包括中性点地刀不同时期的切换过程，通过大数据统计，向运行人员预告下一时期的中性点地刀操作。

就地层与站域层网络通信中断的情况下，站域保护装置会有相应的 Svcb 中断以及 Gocb 中断告警，同时闭锁变压器中性点地刀智能切换；站域层与广域层中断的情况下，广域保护装置以及一体化信息主机也会有相应的通信中断告警，但是不影响保护动作。

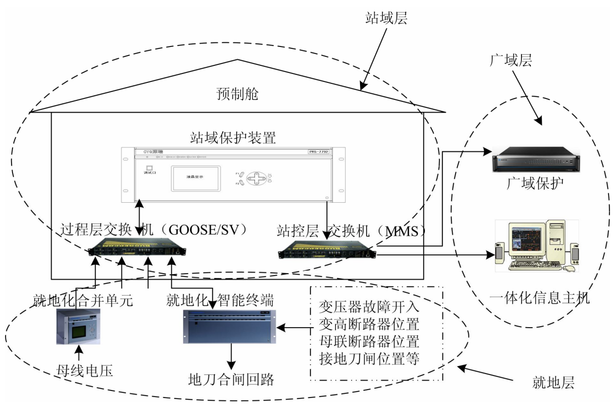

图 6 实现方式示意图

Fig. 6 Implementation mode diagram

4 工程应用

本文所提出的变压器中性点地刀智能切换技术已经应用于东北黑龙江站域保护的科技项目中，测试、验收均能顺利通过，目前挂网试运行状况良好。

5 结论

本文从新一代智能变电站技术出发，分析了站域保护在智能电网中应用的优势，探讨了在站域保护中实现变压器中性点地刀智能切换的可行性，在研究变压器中性点智能切换原理逻辑的基础上，提出了基于站域保护实现智能切换的方式。具有以下几点重要意义。

首先，变压器中性点地刀的有效管理，对规避变电安全隐患，杜绝变电事故，实行安全变电具有重要意义。

其次，变压器中性点地刀智能切换功能在站域保护中的集成，是电网向高度集成化方向发展，有效整合资源，优化配置的典型应用。

最后，实现变压器中性点地刀的智能切换，对电网向数字化、信息化、智能化方向发展，具有一定的推动作用。

参考文献

[1] 崔家佩. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

[2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编[M]. 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2000.

[3] 马静, 史宇欣, 马伟, 等. 基于电流保护融信因子的站域后备保护[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(4): 1-9.
MA Jing, SHI Yuxin, MA Wei, et al. Substation backup protection based on current fusion reliable factor[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(4): 1-9.

[4] 余高旺. 新一代智能变电站中多功能测控装置的研制与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 127-132.
YU Gaowang. Research and application of multifunctional measurement & control device of new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 127-132.

[5] 倪益民, 杨宇, 樊陈, 等. 智能变电站二次设备集成方案讨论[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(3): 194-199.
NI Yimin, YANG Yu, FAN Chen, et al. Discussion on integration of secondary device in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(3): 194-199.

[6] 王媛, 焦彦军, 马叶芝. 利用本地信息实现新型站域保护方案[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(8): 60-64.
WANG Yuan, JIAO Yanjun, MA Yezhi. Research on substation-area protection scheme based on local information[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2014,

26(8): 60-64.

[7] 杨贵, 孙磊, 李力, 等. 区域保护与控制系统网络拓扑方案研究[J]. 电力系统保护与控制，2015，43(9): 101-107.
YANG Gui, SUN Lei, LI Li, et al. Research on regional protection and control system network topology[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(9): 101-107.

[8] 许涛. 一起 110 kV 主变零序过电压保护动作分析[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(18): 93-95.
XU Tao. Analysis of 110 kV main transformer zero sequence overvoltage protection[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(18): 93-95.

[9] 刘育权, 华煌圣, 李力, 等. 多层次的广域保护控制体系架构研究与实践[J]. 电力系统保护与控制，2015, 43(5): 112-122.
LIU Yuquan, HUA Huangsheng, LI Li, et al. Research and application of multi-level wide-area protection system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(5): 112-122.

[10] 赵曼勇, 周红阳, 陈朝晖, 等. 基于 IEC 61850 标准的广域一体化保护方案[J]. 电力系统自动化, 2012, 34(6): 58-60 .
ZHAO Manyong, ZHOU Hongyang, CHEN Zhaohui, et al. A new wide-area integrated protection scheme based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 34(6): 58-60.

[11] 李俊刚, 张爱民, 张杭, 等. 广域保护系统数据网络可靠性评估[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 344-350.
LI Jungang, ZHANG Aimin, ZHANG Hang, et al. Reliability evaluation of the wide area protect system[J]. Transaction of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 344-350.

[12] 张兆云, 陈卫, 张哲, 等. 一种广域差动保护实现方法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 297-303.
ZHANG Zhaoyun, CHEN Wei, ZHANG Zhe, et al. A method of wide-area differential protection[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 297-303.

[13] 李宝伟, 文明浩, 李宝潭, 等. 新一代智能变电站 SV 直采和 GOOSE 共口传输方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(1): 96-101.
LI Baowei, WEN Minghao, LI Baotan, et al. Research of the scheme for SV direct sampling and GOOSE transmit in the same port in new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(1): 96-101.

收稿日期：2015-10-28；　　修回日期：2016-02-01

作者简介：

田　伟(1968-)，男，高级工程师，主要研究电力系统及其自动化、继电保护专业；E-mail: tianwei3110@ sina.com

刘　更(1968－)，男，高级工程师，主要研究电力系统及其自动化、继电保护专业；E-mail: hlj_liugeng@sina. com

原宇光(1974-)，男，高级工程师，主要研究电力系统及其自动化、继电保护专业。E-mail: jdbh0451@ 126.com

(编辑　姜新丽)