

继电保护通道切换装置动模试验

詹荣荣¹,周春霞¹,金乃正²,丁慧霞¹,朱 玛²,詹智华¹,余 越¹

(1. 中国电力科学研究院 国家电网仿真中心动模实验室,北京 100192;

2. 浙江绍兴电力局,浙江 绍兴 312000)

摘要: 建立了一次系统和保护通道的动模试验模型,设计了动模试验测试项目,针对各项目提出了具体的测试要求,并按照要求对继电保护的通道切换装置进行测试。测试结果表明,被测的继电保护通道切换装置基本满足技术要求,但是在给断电的切换装置重新上电后,或者备用通道延时增加、调整切换装置缓存后若立即发生区外故障,则保护容易发生误动。对误动的原因进行了分析,并提出了对应的解决方法。

关键词: 电力系统; 继电保护; 通道切换装置; 动模; 试验; 模型; 通信

中图分类号: TM 73

文献标识码: B

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.08.028

0 引言

近年来,随着光纤技术的迅猛发展,光纤通道凭借其传输中介距离长、抗干扰能力强、传输容量大及安全可靠高等优点,已成为超、特高压输电线路纵联保护通道的最佳选择^[1]。据不完全统计,截至2012年底,220 kV及以上电压等级线路共有纵联保护46360台,其中采用光纤通道的有38932台,所占比例高达83.98%^[2]。纵联保护对通道的依赖性很强,通道的可靠性直接影响保护装置的可靠性及电力系统的安全运行^[3-4]。

对于应用于220 kV及以上电压等级线路的双重化主保护,2套保护分别一对一接入相对独立的通道,确保双重化保护的独立性^[5]。在这种方式下,由于每套保护只有1个通道,一旦通道故障则需要将主保护退出运行,当复用通道经过的站点较多、距离较长时,保护受通道影响而退出的概率也成倍增加。近年来,为了增强通道故障情况下保护装置的可用性,继电保护运行管理部门提出了单套保护装置接入双通道的要求。为了适应这一发展需求,继电保护通道切换装置(以下简称切换装置)逐步应用于保护通信传输回路中^[6-7],它加装在保护设备与通道设备之间,在主通道故障情况下实现主备通道间的切换,提高保护通道的可用性。

但随着切换装置的推广应用及用户需求的不断提高,该装置存在的问题也逐渐暴露出来,如何对切换装置进行有效的测试以确保装置在电力系统中的可靠运行,这一问题变得尤为重要。本文借鉴继电保护产品的动模试验^[8],提出了一套切换装置的动模试验方案,并采用该方案对切换装置进行了测试,对试验中发现的问题进行分析,提出了改进措施和建议。

1 动模试验方案

电力系统动模试验的实质为:根据相似原理建立电力系统,复制电力系统的各种运行情况以代替实际系统;然后将被测装置接入试验系统,进行各种正常与故障状态的试验研究,试验过程直观、可靠,具有更真实准确的暂态特性^[9]。因此,对于被测切换装置而言,进行动模试验验证首先要解决的问题是建立与现场运行环境尽可能一致的试验运行环境,这样才能真实、可靠、充分地验证被测切换装置的性能。

1.1 建立试验环境

试验环境的搭建包括建立模拟一次系统及组织保护通道两部分。

1.1.1 模拟一次系统

建立如图1所示的模型系统。图中, N 侧为送电端, L 侧为受电端,两侧通过220 kV双回输电线路相连;用2台发电机 G_{12} 和 G_{13} 模拟 N 侧等值系统,用无穷大系统 W_3 模拟 L 侧等值系统。

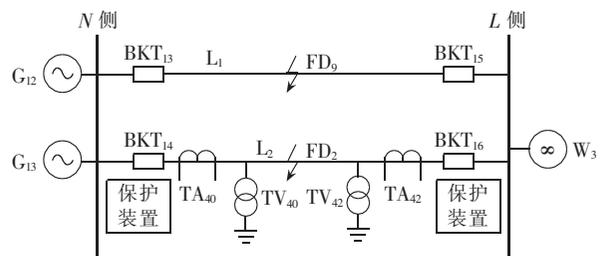


图1 模拟一次系统接线图

Fig.1 Connection diagram of simulative primary system

220 kV线路 L_1 、 L_2 上分别设置了短路故障点,编号分别为 FD_1 和 FD_2 ,每个故障点都可以模拟各种类型的金属性或经过渡电阻短路故障; L_2 两侧的电流互感器 TA_{40} 和 TA_{42} 变比均为1250 A/1 A,电压互感器 TV_{40} 和 TV_{42} 变比均为220 kV/100 V。

1.1.2 保护通道

根据GB/T14285—2006《继电保护及安全自动装

置技术规程》规定,线路保护装置采用光纤通道传递信息时,对于短线路宜分别使用专用光纤,对于中长线路宜分别独立使用 2 Mbit/s 口^[10]。随着电力主干光纤通信网建设的不断完善,目前,220 kV 及以上电压等级线路保护之间具有 1 个专用光纤直联和 1 个同步数字系统(SDH)复用通道这 2 种通道组织方式。因此,综合考虑继电保护通道切换装置的实际应用情况,在试验中,采用 2 种通道组织方式,如图 2 所示。图 2(a)中,保护装置通过光纤与切换装置连接,切换装置接入的通道为专用光纤芯通道和 SDH 复用通道,复用方式为 2 Mbit/s,简称“一光一电通道”。图 2(b)中,切换装置接入的 2 个通道均为 SDH 复用通道,复用方式为 2 Mbit/s,简称“2 个 2M 电通道”。

1.2 测试项目

切换装置与保护设备联系紧密,其与保护设备的配合性能直接决定了该装置的可用性。因此,在设计动模试验项目时,除了切换装置本体性能测试外,还需要考虑通过模拟保护区内、外短路故障来验证切换装置与保护设备的配合性能。

如图 1、2 所示,运行环境为:保护装置与切换装置配置于动模一次系统中,采集 L_2 的模拟电压量及电流量;由切换装置通过通道实时传输模拟量;FD₁ 为区外故障点,FD₂ 为区内故障点。在此运行环境下,进行以下测试。

a. 比对测试。在经切换装置与不经切换装置的情况下,考察接入切换装置后是否对保护设备动作性能产生影响。经切换装置的保护通道连接方式见图 2(b),不经切换装置的保护单通道连接方式见图 3。在通道正常运行时,模拟这 2 种方式保护区内、外

短路故障,以及检查保护装置动作情况。

b. 通道叠加误码测试。保护信息经过通道传输,受通道设备、传输介质、传输速率及外部干扰等多种因素影响,会产生误码^[11-12]。误码对保护设备的影响很大,一帧信息中如果有 1 位错误或多位错误,对保护而言该信息都是不可用的,当误码率达到一定程度时,保护装置动作行为会受影响^[13-14]。因此,通道叠加误码也是检验切换装置功能的重要测试项目。在 2M 电通道中串联接入通信误码发生仪,误码分为随机误码和均匀误码,从低(10^{-6})到高(10^{-3})逐渐增大误码率水平,直到通道发生切换。

c. 通道叠加延时测试。采用专用光纤通道时,光纤通道延时较小,一般按 $5 \mu\text{s}/\text{km}$ 来计算,但是采用复用通道传输时,涉及 SDH 网络的多个节点,必然会造成通道传输的延时。对于保护设备接入的双通道而言,在用通道和备用通道会存在延时差,且当 SDH 网络中通道路由切换时,通道延时会发生跃变。因此,在图 2 所示 2 种通道组织方式下进行通道叠加延时测试时,分别动态调整在用通道和备用通道延时,测试通道切换情况,同时模拟保护区内、外短路故障,检查不同延时下故障对保护装置的影响。

d. 通道中断测试。分别在图 2 所示的 2 种通道连接方式下,使在用通道中断以测试通道切换情况。并在通道中断的同时模拟保护区、内外短路故障,中断时刻超前/滞后短路故障发生时刻 0~30 ms,以 5 ms 为步长,检查中断时故障对保护装置的影响。

e. 通道交叉测试。在图 2(b)所示通道组织方式下,将通道 A、B 与两侧切换装置交叉连接,测试切换装置是否能正确告警。

f. 备用通道检修测试。分别在图 2 所示的 2 种

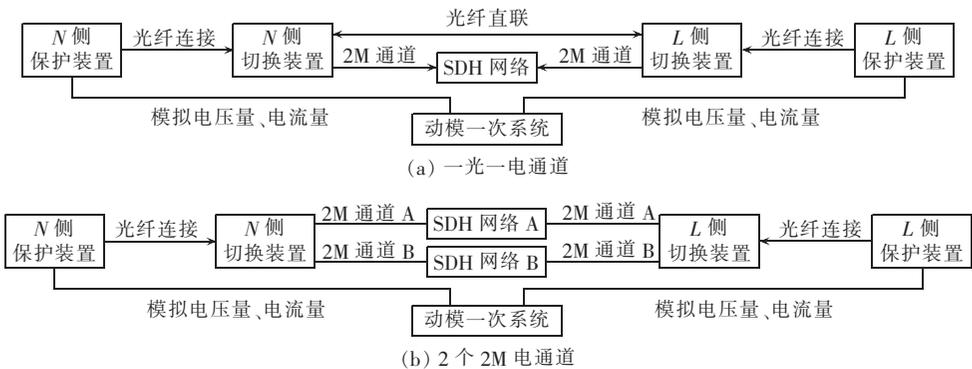


图 2 通道组织方式

Fig.2 Organization of protection channels

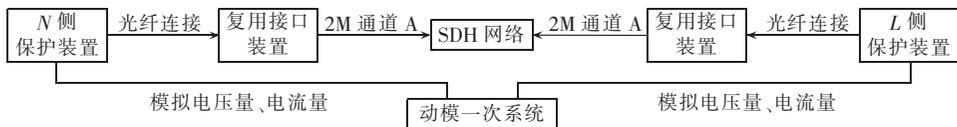


图 3 不经切换装置的保护单通道

Fig.3 Single channel of relay protection without switching device

通道组织方式下,选取 2M 电通道为备用通道,对其进行环回、插入 PRBS、接入测试仪表等检修操作,测试检修操作对切换装置的影响。

g. 手动切换功能测试。双通道正常运行情况下,通过操作面板按键和网管控制 2 种方式进行双通道之间的手动切换。在用通道正常运行、备用通道有故障的情况下,执行手动切换操作,测试通道切换情况。

h. 通道内环、外环功能测试。操作装置面板,分别选择“内环”、“外环”按键,配合修改保护设备的通道识别码,检查保护装置的告警状态来验证切换装置的内环、外环功能。

i. 装置告警功能测试。检查切换装置对各种异常事件的告警处理情况。异常告警事件包括:保护设备连接中断、单通道信号告警、双通道信号告警、环回告警、冗余电源缺失、通道交叉、通道超差。

j. 装置断电/上电测试。切换装置需完成两侧传输数据的同步,并将数据提供给保护装置。该装置实现这一重要功能的原理与机制和智能变电站中应用合并单元时需考虑数据同步问题有相似之处^[15-16]。在对合并单元的动模试验测试中,曾出现由于合并单元上电后短时出现数据失步导致保护误动的现象。鉴于此,对切换装置进行断电及再上电测试很有必要,并且在上电后需模拟保护区内、外短路故障,测试切换装置和保护设备的配合性能。

2 测试技术要求

根据切换装置的应用需求,参考电力系统继电保护装置和电力通信网络设备的相关标准与规范,针对 1.2 节中的测试项目,提出技术要求。

a. 比对测试。通道正常运行情况下,经切换装置后,保护装置的动作为应不受影响。模拟保护区内故障,保护装置应正确动作;模拟保护区内故障,保护装置应不误动。

b. 通道叠加误码测试。在用通道误码率较低时,保护设备无异常告警情况下,切换装置不应发生切换。在用通道误码率较高时,会引起保护设备告警,影响保护动作行为,此时切换装置应切换至无故障的备用通道,使保护装置工作在良好运行状态。借鉴保护装置对通道适应性的测试要求,误码率分界点定为 10^{-4} 。

c. 通道叠加延时测试。在用通道叠加延时情况下,保护装置检测到的通道延时应与设置延时保持一致。备用通道叠加延时情况下,在用通道应保持原有状态正常运行,保护装置动作时间不受影响。当在用通道延时超出规定延时的情况下,切换装置应切换至延时较短的备用通道,有利于缩短保护动作时间。如备用通道也超出规定延时,切换装置不应进行切换,

同时发出告警。参考 GB/T14285—2006《继电保护及安全自动装置技术规程》中“传输线路纵联保护信息的数字式通道传输时间应不大于 12 ms”的规定^[10],测试中规定延时指标定为 12 ms。

d. 通道中断测试。通道中断后,切换装置应执行无损切换至备用通道,切换过程中,保护装置应感受不到任何报文中断或误码。中断的同时模拟短路故障,此时保护装置应能正确动作。

e. 进行通道交叉测试时,切换装置应能识别出通道交叉连接的状态,不引起保护设备误动作。

f. 备用通道检修测试时,切换装置不应受影响。

g. 手动切换功能测试。备用通道正常运行情况下,可执行手动切换操作;备用通道有故障的情况下,应不能执行手动切换操作。

h. 装置应具有并正确实现内、外环功能,内环功能可用于通信通道异常的检验,外环功能可用于保护设备侧线路异常的检验。

i. 装置告警功能测试。切换装置应能反映各种通道异常状态,点亮面板告警灯,可给出空接点告警信号。

j. 装置断电及再上电过程中,切换装置由启动状态转入正常工作状态后,即可正常传输通道数据,模拟保护区外短路故障,保护装置不误动。

3 切换装置动模试验中发现的问题及其分析

基于以上试验方案及技术要求测试继电保护通道切换装置,切换装置测试效果总体较好,基本满足技术要求,但仍发现装置存在一些问题和不足,据此提出了适用于继电保护应用需求的改进措施和建议。

a. 装置上电后切换装置不同步导致保护误动。

在图 2(a)所示通道组织方式下进行装置断电/上电测试时,专用光纤通道和 2M 电通道均处于正常运行状态,将 N 侧切换装置断电,断电后又重新上电。切换装置上电后,保护设备显示通道恢复的情况下,立即模拟线路区外发生单相故障,出现了保护设备误动作跳开三三相的现象。

切换装置进行通道切换时,为了实现 2 个通信通道间的无缝切换,会根据通道的传输延时建立一个缓存区,该缓存区大小以满足最长通道传输延时为基准来设置。切换装置上电后,装置首先进入通道延时检测和建立缓存区的状态,由于延时检测不稳定,缓存区指针有调整,两侧装置传输的数据处于不同步输出状态的过程会持续十几秒,在此过程中,保护装置收到的电流信号角度与实际存在差异,甚至导致本侧电流与对侧电流同相。此时如果发生区外故障,对于保护装置,穿越电流反映为差流,导致保护设备误动作,如图 4 所示(以 A 相电流为例)。

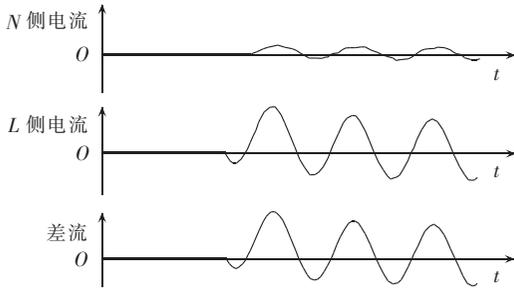


图 4 两侧切换装置不同步引起的差流

Fig.4 Differential currents caused by out-sync between switching devices at two sides

明确误动原因后,建议对装置进行改进,在装置上电双通道中断重新恢复之后一段时间内仍然闭锁切换装置,这段时间控制在 1 min 之内,过后再解除闭锁,此时输入保护的数据已经是通道建立同步后的稳定数据,可解决保护误动问题。

b. 备用通道延时增加、调整切换装置缓存后引起保护误动。

进行通道叠加延时测试,备用通道增加延时后,在用通道工作状态不受影响,但当备用通道延时增加超出主备通道的原有延时差后,两侧切换装置网管提示“手动同步缓存调整”,执行手动调整后,通道再发生切换时可实现无损切换。在先调整单侧切换装置、另一侧切换装置未调整的情况下,如此时发生保护区外故障,保护设备出现误动现象。

按照装置设计方案,“手动同步缓存调整”是通过调整缓存区位置,将装置的有损状态变为无损状态,但是“手动同步缓存调整”必须通过网管,在两侧装置同时进行,才能保证收发通道的一致性。在实际操作时,对两侧装置的调整在时间上必然存在先后的关系,这样就容易出现类似装置上电后两侧切换装置不同步的现象,最终造成保护误动。

因此,为避免运行人员误操作,建议装置取消“手动同步缓存调整”功能,对于备用通道延时增加超出主备通道原有延时差的问题需要采用“手动无损切换”来解决,切换装置将短时闭锁对保护装置的输出,并在两侧同时调整缓存位置,切换过程中,保护装置不会造成误动。

4 结论

采用本文提出的继电保护通道切换装置动模试验方案对继电保护通道切换装置进行了测试,取得了良好的效果。试验过程中,发现在各种工况下,保证两侧切换装置的数据同步性是必须要注意的问题,这样才能确保保护设备的动作正确性。由此可见,进行动模试验是验证继电保护通道切换装置与保护设备配合性能的必要手段。

参考文献:

- [1] 贺家李,李永丽,李斌,等. 特高压输电线路继电保护配置方案:(二)保护配置方案[J]. 电力系统自动化,2002,26(24):1-6.
HE Jiali,LI Yongli,LI Bin,et al. Relay protection for UHV transmission lines part two disposition of relay protection [J]. Automation of Electric Power Systems,2002,26(24):1-6.
- [2] 张烈,王文焕,杨国生,等. 2012 年国家电网公司继电保护设备分析评估报告[R]. 北京:中国电力科学研究院,2013.
- [3] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京:中国电力出版社,1995:235-237.
- [4] 谷昕. 利用光纤通信网络传送继电保护信号[J]. 电力系统通信,2004,25(7):35-37.
GU Xin. The transmission of relay protection signal taking advantage of optical fiber communication network[J]. Telecommunication for Electric Power System,2004,25(7):35-37.
- [5] 李峥峰,杨曙年,喻道远,等. 继电保护中光纤通信应用[J]. 电力自动化设备,2007,27(2):75-78.
LI Zhengfeng,YANG Shunian,YU Daoyuan,et al. Optical fiber communication applied in relay protection [J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(2):75-78.
- [6] 朱春山,安毅. 继电保护通道切换装置的技术原则与应用[J]. 山西电力,2009,12(2):34-36.
ZHU Chunshan,AN Yi. The technology principle and application of relay protection switching device [J]. Shanxi Power,2009,12(2):34-36.
- [7] 王彦亮. 智能通道保护设备在超高压电力线路继电保护信号传输中的应用[J]. 网络通信,2007,9(9):58-59.
WANG Yanliang. The application of smart channel switching device for the signal transmission of line protection and application of relay protection switching device [J]. Network Telecom,2007,9(9):58-59.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T26864—2011 电力系统继电保护产品动模试验[S]. 北京:中国电力出版社,2011.
- [9] 汤涌,印永华. 电力系统多尺度仿真与试验技术[M]. 北京:中国电力出版社,2013:17-18.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T14285—2006 继电保护及安全自动装置技术规范[S]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [11] 金光磊. 通道误码率与远动通道的可用性[J]. 电力系统通信,1999(2):45-46.
JIN Guanglei. Error rate of channel and availability of remote channel [J]. Telecommunications for Electric Power System,1999(2):45-46.
- [12] 赵才望. 500 kV 线路主保护装置通道误码率增加的分析[J]. 贵州电力技术,2012,15(3):52-54.
ZHAO Caiwang. Analysis on error rate increasing in main protection device channel of 500 kV line [J]. Guizhou Electric Power Technology,2012,15(3):52-54.
- [13] 陈强林,李瑞生,马全霞,等. 继电保护通道检测平台在光纤差动保护测试中的应用[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(8):83-85,92.
CHEN Qianglin,LI Ruisheng,MA Quanyia,et al. The detection platform of relay protection channel in fiber differential protection test [J]. Power System Protection and Control,2009,37(8):83-85,92.
- [14] 许庆强,张勇刚,周栋骥,等. 光纤通道传输品质对线路保护 PSL603U 影响的试验研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(11):75-80,108.
XU Qingqiang,ZHANG Yonggang,ZHOU Dongji,et al. Experi-

mentation and research of optical fiber channel to the line differential protection PSL603U[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(11):75-80, 108.

- [15] 潘济猛,孙永先,申迪秋,等. 智能变电站光纤纵差保护装置同步方案比较[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(9):101-104.

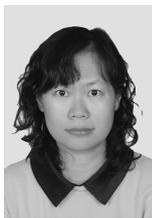
PAN Jimeng, SUN Yongxian, SHEN Diqu, et al. Comparison of fiber current differential protection synchronization schemes for smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(9):101-104.

- [16] 晏玲,李伟,曹津平. 采用FPGA实现合并单元同步采样的方案[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(10):126-128.

YAN Ling, LI Wei, CAO Jinping. Synchronized sampling of merging unit with FPGA[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(10):126-128.

作者简介:

詹荣荣(1978-),女,广西南宁人,高级工程师,硕士,主要研究方向为电力系统动态模拟、继电保护技术(E-mail: zhanrr@epri.sgcc.com.cn);



詹荣荣

周春霞(1965-),女,河北衡水人,高级工程师,主要研究方向为电力系统继电保护、动态模拟技术(E-mail: chxzhou@epri.sgcc.com.cn);

金乃正(1961-),男,浙江绍兴人,高级工程师,主要研究方向为电力系统继电保护技术(E-mail: jnz@21cn.com);

丁慧霞(1981-),女,河南新乡人,高级工程师,硕士,主要研究方向为电力光纤网络应用技术(E-mail: dhx@epri.sgcc.com.cn);

朱玛(1980-),女,浙江绍兴人,工程师,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护(E-mail: zhuma1201@sina.com);

詹智华(1982-),男,江西抚州人,工程师,硕士,主要研究方向为电力系统动态模拟技术、继电保护及安全自动装置(E-mail: sv001@epri.sgcc.com.cn);

余越(1985-),女,江西赣州人,工程师,硕士,主要研究方向为电力系统动态模拟技术、继电保护及安全自动装置(E-mail: yuyue2010@epri.sgcc.com.cn)。

Dynamic simulation for channel switching device of relay protection

ZHAN Rongrong¹, ZHOU Chunxia¹, JIN Naizheng², DING Huixia¹,
ZHU Ma², ZHAN Zihua¹, YU Yue¹

(1. Power System Dynamic Simulation Laboratory of SGCC Simulation Center, China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 2. Zhejiang Shaoxing Power Bureau, Shaoxing 312000, China)

Abstract: The dynamic simulation model of primary system and relay protection channels is built, and its test items are designed. The corresponding test requirements are proposed and the channel switching device of relay protection are tested accordingly. The test result shows that, the tested channel switching device basically meets the technical requirements, but it may operate improperly when out-zone fault occurs immediately after it is repowered or its cache is adjusted together with the increased time delay of the backup channel. The reason of misoperation is analyzed and the solutions are given.

Key words: electric power systems; relay protection; channel switching device; dynamic simulation; testing; models; communication

(上接第167页 continued from page 167)

ZHAO Lijun, XI Xiangdong. Technology of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(5):118-121.

- [16] 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 Guojian, DUAN Xinhui, GAO Xinhua. Networking schemes for process level of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(2):94-98.

作者简介:



申泉

申泉(1964-),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力自动化方面的研究工作;

赵谦(1984-),男,江苏南京人,工程师,硕士,从事电力自动化方面的研究工作(E-mail: qian-zhao@sac-china.com)。

PNP technology of IEDs for whole life cycle of smart substation

SHEN Quan, ZHAO Qian

(Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: A kind of PNP (Plug and Play) technology of IEDs (Intelligent Electronic Devices) for the whole life cycle of smart substation is proposed according to the complete process of design, construction, operation and maintenance of smart substation and the characteristics of IEDs, which adopts the signal match mode based on the standard virtual terminal descriptions during the design stage, the communication mode based on the standard virtual terminal definitions and sequence during the commissioning stage, and the management server to manage the operating and backup IEDs during the operation and maintenance stage. The proposed PNP technology can effectively improve the efficiency for the whole life cycle of smart substation.

Key words: smart substation; IED; plug and play; whole life cycle; virtual terminal