

一种基于物理层的光纤通信断链快速监测方法

丁力, 陈建松, 袁涛

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏南京 211102)

摘要:文中根据光纤通信网络在智能变电站中的应用情况,分析了GOOSE网络链路状态监测现状及存在的问题,基于物理层的电气特性,通过对光接收功率的监测分析,提出了一种光纤通信断链快速监测方法,同时结合简易母线保护案例给出了链路异常闭锁方案。该方法可快速发现异常链路,及时给出预防措施闭锁相关保护,解决了光纤通信链路异常时保护闭锁慢的问题,提高了保护的可靠性。

关键词:智能变电站;通信链路;GOOSE;物理层

中图分类号:TM76

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2017)04-0043-06

0 引言

通信技术的发展,推动了智能变电站的建设,传统四遥、故障录波等基本功能已不能满足变电站的需求,大量高级应用基于通信网络来完成^[1-5],通信网络的健壮程度直接影响到保护的可靠性。随着光纤技术的发展及光纤价格的下降,变电站内的数据传输由传统电缆传输方式转变为光纤以太网传输方式,光纤通信网络成为智能变电站的一大特点^[6]。

根据智能变电站三层结构的划分^[7],变电站通信网络分为站控层网络和过程层网络,由于采用了光通信及交换式以太网技术来实现采样值的快速上传及GOOSE跳合闸、联闭锁信息的快速传递,所以对于快速性和实时性有了更迫切的要求^[8]。目前,两层网络架构链路监测通过通信报文的识别来实现,报文发送周期的长短,直接决定了链路异常状态判断的快慢。在链路异常判出期间,如果发生系统短路故障,保护装置存在误动或拒动的可能。如何提高通信网络监测的速度,及时发现异常现象并采取相应保护措施,值得深入研究。

本文分析了GOOSE网络断链监测方法现状,根据OSI通信模型中物理层的电气特性,通过对光接收功率的监测分析,提出了一种光纤通信断链快速监测的方法。该方法不受报文发送类型、周期长短的限制,可以快速地发现链路异常状态,并且准确、直观定位故障链路。文中的最后通过了香港某变电站11 kV系统简易母线保护案例,给出了链路异常时简易母线保护闭锁逻辑。测试表明,该方法监测速度快,定位准确、直观,可以提高简易母线保护的可靠性。

收稿日期:2017-02-22;修回日期:2017-04-03

1 GOOSE 网络断链监测方法分析

1.1 GOOSE 报文发送机制

GOOSE代表通用面向对象变电站事件,是IEC 61850标准中定义的一种基于数据链路层的通信机制,由于其实时性高的特点,可用于间隔层与过程层快速传输变电站事件,如命令、报警、指示、信息等。GOOSE采用发布者、订阅者模式,发布者通过组播方式发送数据,一个数据源可被多个订阅者接收。当有GOOSE事件发生时,利用重传机制连续多次发送数据从而保证通信的可靠性,否则按固定时间间隔发送GOOSE报文^[9]。GOOSE发送时间顺序如图1所示。

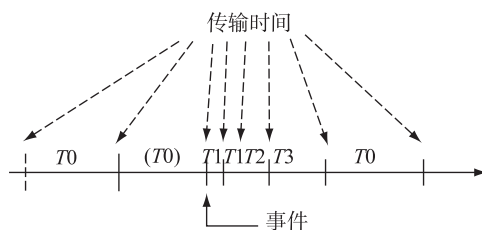


图1 GOOSE事件发送机制

Fig.1 The transmission time of GOOSE event

图1中, T_0 为GOOSE心跳时间,可配置,通常设为5 s,无GOOSE事件时固定按此间隔发送报文; (T_0) 为事件发生时刻,信号重发时间,此时间因事件的发生比 T_0 短; T_1 为事件发生时最短的重发时间,可配置,通常设为2 ms; T_2 为获得稳定条件的重传时间,不可配置,默认设为 $2 \times T_1$; T_3 为直到获得稳定条件的重传时间,不可配置,默认设为 $4 \times T_1$ 。

另外,IEC 61850规定了GOOSE报文的格式,GOOSE报文需配置正确的AppID,GOID,GOCBRef,DataSet,ConfRev等参数,GOOSE订阅者根据这些参数在网络上寻找与之匹配的GOOSE报文。

1.2 GOOSE 断链监测方法

GOOSE 链路中断主要有以下几个方面原因造成:装置电源失电、装置的 GOOSE 板卡损坏、光纤断、装置 GOOSE 端口松动、交换机端口故障、交换机端口松动和交换机电源失电等^[10]。当上述任何一种情况发生时,GOOSE 接收装置将无法接收到 GOOSE 报文,根据该特性,GOOSE 接收装置可判断出是否发生 GOOSE 网络断链。GOOSE 接收断链报警判据为:GOOSE 接收装置在 4 倍 GOOSE 心跳时间内如果没有收到正确的 GOOSE 报文,则报 GOOSE 接收断链报警。保护装置在监测到 GOOSE 接收断链报警信号后,可施加一定的预处理措施^[11],保证保护动作的可靠性。

另外,GOOSE 网络一般由多个 GOOSE 发送装置和 GOOSE 接收装置组成,网络结构错综复杂。在发生光纤通信断链时,从单个装置上无法定位出具体故障链路,此时需借助监控后台系统来绘制 GOOSE 通信状态二维表,通过二维表格来表示 GOOSE 发送装置和接收装置之间的通信链路状态,经过一定分析后可定位出故障链路^[12,13]。

2 通信断链快速监测方法研究

2.1 原理介绍

OSI 参考模型定义了网络互联的七层框架,物理层是 OSI 模型中的最底层,规定了数据传送与接收所需要的电与光信号、线路状态、时钟基准、数据编码和电路等,并向数据链路层设备提供标准接口。物理层芯片称为 PHY 芯片,为适应不同需求需进行相关参数设置,如是否自动协商、最大通信速率、是否 force link 等等。其中 force link 用于设置链路状态检测模式,当 force link 设置为正常运行方式,即数据接收通道异常时会导致数据发送通道关闭,因此光纤收、发断线均可被监测。SD 信号是板上光收发器产生的信号,用来指示光收发器是否接收到光信号,通过 PHY 芯片监测 SD 信号,从而提供光通道 link 状态,其原理框图如图 2 所示。

2.2 实现方法

光纤 SD 信号是通过检测光接收功率来实现的,当光接收功率大于一定阈值时,比如 -30 dBm ,则认为光通道处于正常工作状态,Link 状态置 1;否则认为光路断链,Link 状态置 0,其判据为: $P \geq f_s$,其中 P 为装置检测到的光接收功率, f_s 为光功率阈值,其大小取决于光模块。应用软件在每个任务周期读取 Link 状态,由于软件任务周期在毫秒级,因此该方法可快速判出光纤物理链路断链。通常,数

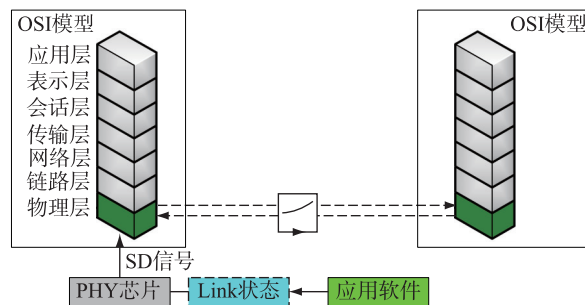


图 2 Link 状态监测原理图

据的收、发是通过双光纤独立完成的,当 force link 设置为正常运行方式时,任何一根光纤断都会引起 SD 信号消失,从而被判为物理断链。

图 3 为一组保护装置网络通信拓扑图,4 台保护装置挂在一台交换机上,其中装置 1 和装置 2 负责发送 GOOSE 报文到交换机,装置 3 和装置 4 同时接收装置 1 和装置 2 发送的 GOOSE 报文。

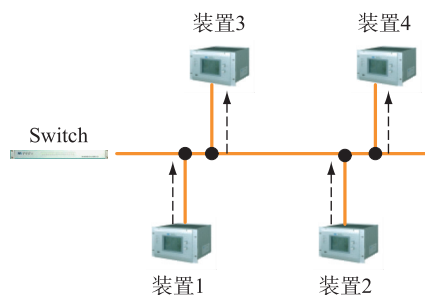


图 3 网络通信拓扑图

Fig.3 Network topology

下面通过 5 种场景逐一分析光纤物理断链报警实现过程。

(1) 装置 1 光纤断。当装置 1 光纤断,交换机和装置 1 之间无光信号交互,装置 1 PHY 芯片检测不到光接收功率,Link 状态置 0,在一个软件任务周期内装置 1 报光纤物理断链报警。装置 3 和装置 4 由于在 4 倍 GOOSE 心跳时间内未收到装置 1 发送的 GOOSE 报文,报装置 1 GOOSE 接收断链报警。

(2) 装置 2 光纤断。当装置 2 光纤断,断链分析过程同装置 1 光纤断。装置 2 报光纤物理断链报警;装置 3 和装置 4 报装置 2 GOOSE 接收断链报警。

(3) 装置 3 光纤断。当装置 3 光纤断,交换机和装置 3 之间无光信号交互,装置 3 PHY 芯片检测不到光接收功率,Link 状态置 0,在一个软件任务周期内装置 3 报光纤物理断链报警。装置 3 由于在 4 倍 GOOSE 心跳时间内未收到装置 1 和装置 2 发送的 GOOSE 报文,报装置 1 GOOSE 接收断链报警和装置 2 GOOSE 接收断链报警。

(4) 装置4 光纤断。当装置4 光纤断,断链分析过程同装置3 光纤断。装置4 报光纤物理断链报警,装置1 GOOSE 接收断链报警、装置2 GOOSE 接收断链报警。

(5) 交换机电源失电。当交换机电源失电,4 台装置 PHY 芯片检测不到光接收功率,Link 状态置0,在一个软件任务周期内分别报光纤物理断链报警。装置3 和装置4 由于在4 倍 GOOSE 心跳时间内未收到装置1 和装置2 发送的 GOOSE 报文,分别报装置1 GOOSE接收断链报警和装置2 GOOSE接收断链报警。

表1 和表2 分别为光纤物理断链报警和 GOOSE 接收断链报警二维表,其中0 为有报警,X 为无报警。结合上述分析过程可看出,光纤物理断链报警能在更短时间内报出,且能更为直观指出断链装置,而 GOOSE 接收断链报警需经过一定分析后才能定位出光纤断链装置,特别是针对一些复杂的网络,分析过程将变得更为复杂。另外对于简单的 GOOSE 组网,如装置1 和装置3 之间单点交互,与其他装置无联系。当装置1 或装置3 光纤断,装置3 均会报装置1 GOOSE接收断链报警,此时仅通过 GOOSE 接收断链报警无法定位故障链路,而光纤物理断链监测方法能很好解决该问题。

表1 光纤物理断链报警二维表

Table 1 The alarm table of optical fibre physical broken

光纤断	物理断链报警			
	装置1	装置2	装置3	装置4
装置1	0	X	X	X
装置2	X	0	X	X
装置3	X	X	0	X
装置4	X	X	X	0
交换机电源失电	0	0	0	0

表2 GOOSE 接收断链报警二维表

Table 2 The alarm table of GOOSE receiving

光纤断	GOOSE 接收报警			
	装置1	装置2	装置3	装置4
装置1	X	X	0	0
装置2	X	X	0	0
装置3	X	X	0	X
装置4	X	X	X	0
交换机电源失电	X	X	0	0

3 应用实例

3.1 背景介绍

变电站10 kV系统中通常不配置专用的母线保护装置,母线故障一般由变压器后备保护切除。由

于后备保护动作时间长,对一次设备的安全造成一定的威胁,简易母线保护利用过流保护和闭锁信号来实现母线故障时可快速切除变低开关,而在出线故障时,闭锁变低简易母线保护,防止越级跳闸^[14-17]。通常简易母线保护采用闭锁式逻辑,在通信断链时闭锁信号无法正确传递,保护装置存在误动可能。因此需要一种快速监测通信断链的方法,及时发现异常并闭锁简易母线保护,防止误动。

3.2 保护配置方案

简易母线保护配置方案如下:

(1) 馈线保护装置。设置一段过流保护,一段失灵保护。动作逻辑如图4 所示。

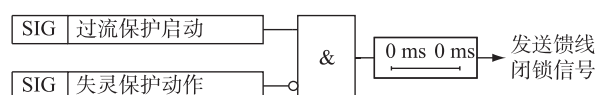


图4 馈线简易母线闭锁逻辑

Fig.4 The blocking logic of feeder

(2) 变压器低压侧保护装置。设置一段正向过流保护,一段反向过流保护,一段失灵保护。采用方向过流保护可区分变压器区内故障和母线故障,防止越级动作。动作逻辑如图5、图6 所示。

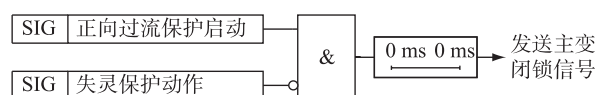


图5 主变简易母线闭锁逻辑

Fig.5 The blocking logic of transformer

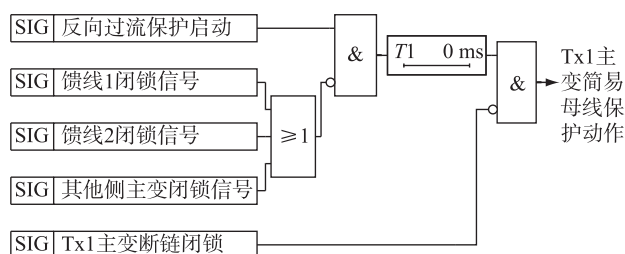


图6 Tx1 主变简易母线保护动作逻辑

Fig.6 The operating logic of simplified bus protection of Tx1 transformer

图7 为香港某变电站11 kV 系统简易母线保护简化示意图,11 kV 母线保护通过馈线保护装置(包括电容器保护等间隔层设备)、变压器低压侧保护装置共同完成。

3.3 断链闭锁逻辑

断链闭锁功能主要针对 GOOSE 接收装置,在本方案中,只有变低侧保护装置需要考虑断链闭锁逻辑,下面以 Tx1 主变为例,其闭锁逻辑如图8 所示。文本采用双闭锁逻辑,2 者满足其一即闭锁简易母线保护。

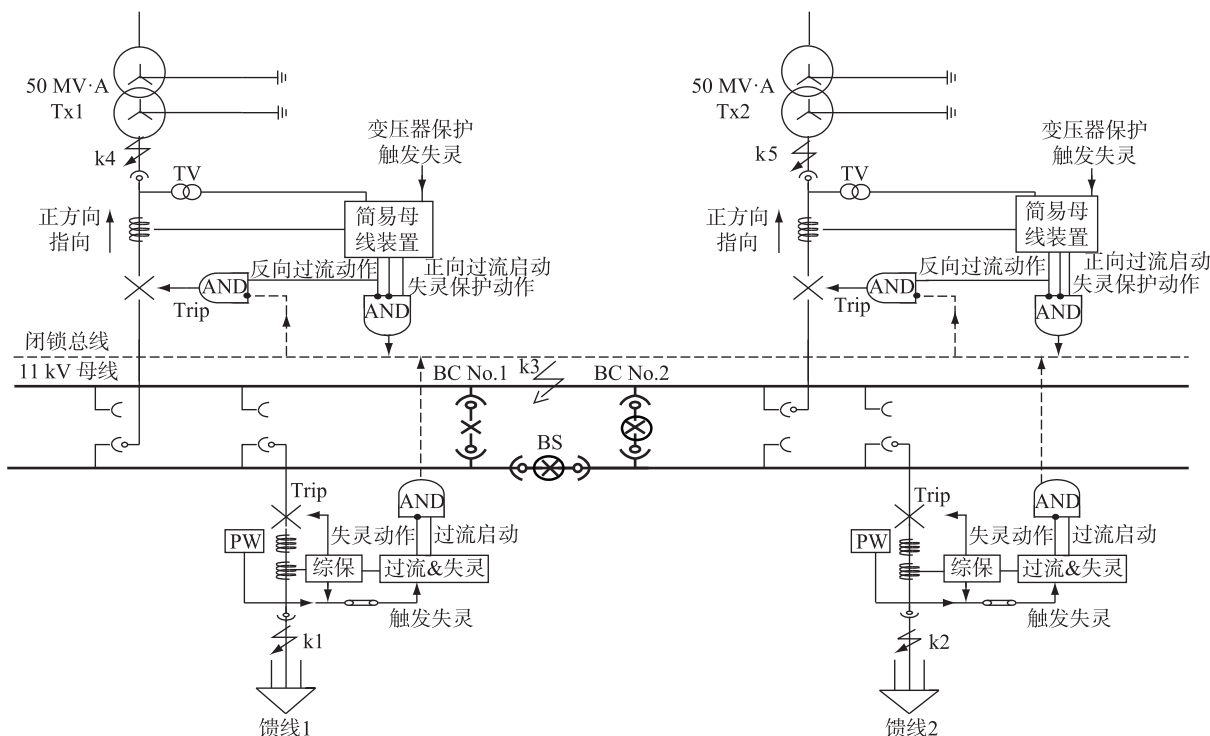


图7 简易母线保护简化示意图

Fig.7 The diagram of simplified bus protection

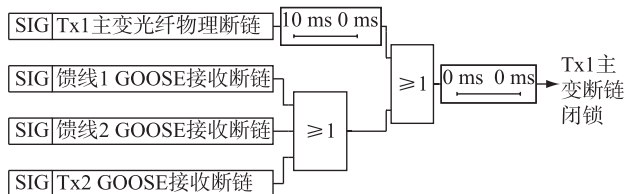


图8 Tx1 主变 GOOSE 断链闭锁逻辑

Fig.8 The blocking logic of Tx1 transformer GOOSE link broken

(1) 当装置和交换机之间的光纤发生物理断链时(包括装置 GOOSE 板卡坏,端口松动,交换机电源失电,光纤断等物理原因),可通过光纤通信断链快速监测方法及时发现断链,经过一定时间防抖后立即闭锁简易母线保护。防抖时间可根据实际需求设置,在满足可靠性的同时,可适当提高速动性。

(2) 当由于网络风暴、数据丢帧等通信报文异常问题导致通信断链时,装置在 4 倍 GOOSE 心跳时间后报出 GOOSE 接收断链告警,同时立即闭锁简易母线保护。

表 3 为主变 Tx1 光纤通信断链报警时刻对照表,表中数据通过保护装置和交换机实测所得。从表中可以看出,在主变 Tx1 发生光纤断时,光纤物理断链报警只需要几十毫秒便可以判出,而 GOOSE 接收断链报警则要花 18 s 左右,物理断链检测方法可有效提升简易母线保护闭锁速度,降低越级跳闸事故发生的可能性。

表 3 通信断链报警时刻对照表

Table 3 The time table of communication broken ms

主变 Tx1 光纤断	触发时刻	光纤物理断链报警	GOOSE 接收断链报警
测试 1	0	14	17 007
测试 2	0	19	17 352
测试 3	0	5	19 457
测试 4	0	17	17 250
测试 5	0	22	18 495

4 结论

本文提出的光纤通信断链快速监测方法,是对现有 GOOSE 通信断链监测方法的完善。该方法不依赖于通信报文格式、发送周期等约束条件,具有监测速度快,定位准确、直观的特点。对基于 GOOSE 通信网络的保护方案,可快速发现异常链路,及时给出预防措施闭锁相关保护,提高保护的可靠性。同时,能提高运维人员的检修效率。

参考文献:

[1] 宋会平,丁显飞,宋池. 基于智能变电站的简易母线保护研究[J]. 湖北电力,2014,38(2):12-14.
 SONG Huiping, DING Xianfei, SONG Chi. Study on simplified bus protection of smart substation[J]. Hubei Electric Power, 2014,38(2):12-14.
 [2] 陈海东,负保记,代文章,等. 基于 GOOSE 机制的开闭所保

- 护的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(13): 134-138.
- CHEN Haidong, YUN Baoji, DAI Wenzhang, et al. Research of switch substation's protection based on GOOSE mechanism[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(13): 134-138.
- [3] 张世帅, 朱亚军, 唐成虹, 等. 基于 GOOSE 通信技术的微电网故障定位及隔离[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(12): 179-183.
- ZHANG Shishuai, ZHU Yajun, TANG Chenghong, et al. Fault location and isolation of microgrid based on GOOSE communication[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(12): 179-183.
- [4] 姚成, 黄国方, 仲雅霓, 等. 基于站控层 GOOSE 的站域控制实现方案[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(18): 159-161.
- YAO Cheng, HUANG Guofang, ZHONG Yani, et al. A realization scheme of substation area control system based on GOOSE message in station level[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(18): 159-161.
- [5] 黄琦东, 俞玲, 顾金弟. 上海松江电网 110 kV 自愈系统研究与应用[J]. 华东电力, 2014, 42(5): 969-976.
- HUANG Qidong, YU Ling, GU Jindi. Research and application of 110 kV self-healing system for Shanghai Songjiang Power Grid[J]. East China Electric Power, 2014, 42(5): 969-976.
- [6] 刘海峰, 赵永生, 谭建群, 等. 智能变电站技术应用现状和展望[J]. 湖南电力, 2013, 33(1): 9-14.
- LIU Haifeng, ZHAO Yongsheng, TAN Jianqun, et al. Present situation and prospect of smart substation technology[J]. Hunan Electric Power, 2013, 33(1): 9-14.
- [7] IEC 61850-5 Communication networks and systems in substations-part 5: communication requirements for functions and device models[S].
- [8] 魏勇, 郭赞, 马力, 等. 以太网 IP 层及链路层通信技术在变电站综自系统的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(16): 143-146.
- WEI Yong, GUO Bin, MA Li, et al. Application of IP layer and data link layer communication technology in substation system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(16): 143-146.
- [9] 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.
- [10] 翟相鹏, 吴晓蕾. 智能变电站继电保护典型缺陷分析[J]. 河北电力技术, 2015, 34(4): 17-19.
- ZHAI Xiangpeng, WU Xiaolei. Typical fault analysis on smart substation relay protection[J]. Hubei Electric Power, 2015, 34(4): 17-19.
- [11] 黄华茂, 张程, 李垂有, 等. 数字化变电站 GOOSE 链路状态监测方法探讨[J]. 广东电力, 2014, 27(12): 76-79.
- HUANG Huamao, ZHANG Cheng, LI Chuiyou, et al. Discussion on state monitoring method for GOOSE link of digital substation[J]. Guangdong Electric Power, 2014, 27(12): 76-79.
- [12] 尹亮. 数字化变电站 GOOSE 通信链路“三元”监测法研究[J]. 电气技术, 2014(12): 65-67.
- YIN Liang. A study of ternary monitoring method GOOSE communication link in digital substation[J]. Electrical Engineering, 2014(12): 65-67.
- [13] 周康, 汪晓飞, 柳率. 智能变电站 GOOSE 断链分析[J]. 电工技术, 2014(9): 64-65.
- ZHOU Kang, WANG Xiaofei, LIU Lv. Analysis of GOOSE broken link in smart substation[J]. Electric Engineering, 2014(9): 64-65.
- [14] 王寅丞, 李伟, 潘书燕. 简易母线保护在新一代智能变电站中的应用[C]. 中国电机工程学会电力系统专业委员会 2014 年学会年会, 2014: 344-347.
- WANG Yincheng, LI Wei, PAN Shuyan. A application of simple busbar protection in new generation of smart substation[C]. Chinese Society for Electrical Engineering Annual Meeting of the power system Specialized Committee, 2014: 344-347.
- [15] 陈杰明. 基于 GOOSE 的 10 kV 简易母线保护研究和应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(4): 96-99.
- CHEN Jieming. 10 kV bus protection research and application based on GOOSE[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(4): 96-99.
- [16] 魏承志, 王凯, 文安, 等. 基于站域保护的简易母线研究[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(2): 72-76.
- WEI Chengzhi, WANG Kai, WEN An, et al. Study on substation-area protection based simple bus protection[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(2): 72-76.
- [17] 陆玉军, 徐勇, 薛军, 等. 智能变电站中低压母线保护设计[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(3): 21-25.
- LU Yujun, XU Yong, XUE Jun, et al. Design and analysis of middle-low voltage busbar protection in smart substation[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014, 33(3): 21-25.

作者简介:



丁力

丁力(1982—),男,江西南昌人,工程师,从事继电保护与变电站自动化研究工作(E-mail:dingli@nrec.com);

陈建松(1986—),男,江苏盐城人,工程师,从事继电保护与变电站自动化研究工作(E-mail:chenjiansong@nrec.com);

袁涛(1982—),男,江苏溧阳人,工程师,从事平台基础软件研究工作(E-mail:yuant

@nrec.com)。

(下转第 118 页)

Partial Discharge Experiment of UHV Transformer Based on Stepless Adjustment Technology

WEI Chao¹, LIU Yang²

- (1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China;
2. State Grid Xuzhou Power Supply Company, Xuzhou 221000, China)

Abstract: As the most severe assessment method in transformer field handover tests, partial discharge test can effectively detect insulation faults inside transformer. In UHV transformer field partial discharge test, based on calculation and analysis of capacitive and inductive power, large capacity stepless adjustable reactor sense technology and inductive reactive power real-time monitoring method are presented for the first time. Adjustable reactor can smoothly adjust the reactance value to change inductive compensation state compensation, and reactive power real-time monitoring method can reflect the real-time test and ensure the efficiency and safety of the test.

Key words: converter transformer; partial discharge test; adjustable reactor

(编辑 刘晓燕)

(上接第 107 页)

A Fast Monitoring Method for Optical Fibre Communication Link Based on Physical Layer

DING Li, CHEN Jiansong, YUAN Tao

(Nanjing Nari-relays Electric Co., Ltd, Nanjing 211102, China)

Abstract: According to the application of optical fibre communication network in smart substation, this paper analyzes the status and existing problems of the monitoring of GOOSE network link. Based on the electric characteristics of the physical layer and the analysis of the optical receiving power, a fast monitoring method for optical fibre communication link is proposed, and a detailed blocking scheme is given through simplified bus protection case. This method can detect the abnormal link quickly and give the preventive measures in time, which can solve the problem of slow blocking when the communication link is abnormal and improve the reliability of protection.

Key words: smart substation; communication link; GOOSE; physical layer

(编辑 徐林菊)