

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181561

变压器保护子机的信息环网异常解决方案

石磊¹, 周浩¹, 陆兆沿¹, 李智玲², 宋海涛²

(1. 长园深瑞继保自动化有限公司, 广东 深圳 518057; 2. 内蒙古电力(集团)有限责任公司
包头供电局, 内蒙古 包头 014000)

摘要: 就地化分布式变压器保护采用子机模式, 通过环网传输交流采样、开入量及参数等信息, 环网的信息异常将直接影响保护装置的可靠运行。为了解决各种环网异常情况下变压器保护装置不正确动作的问题, 以 220 kV 变压器保护子机配置模式为例, 分析了环网可能存在的各类异常情况。并有针对性地提出处理原则及解决方案, 基于该方案搭建测试环境, 验证了方案的合理性和可行性。该环网异常方案可有效提高就地化分布式变压器保护装置运行的稳定性和可靠性。

关键词: 变压器保护; 分布式; 就地化; 环网异常

Information ring network anomaly solution for transformer sub-protection

SHI Lei¹, ZHOU Hao¹, LU Zhaoyan¹, LI Zhiling², SONG Haitao²

(1. CYG SUNRI CO., LTD., Shenzhen 518057, China;

2. Baotou Power Supply Bureau, Inner Mongolia Power (Group) Co., Ltd., Baotou 014000, China)

Abstract: The localized distributed transformer protection adopts the sub-machine mode, and transmits information such as AC sampling, input and parameters through the ring network. The information abnormality of the ring network will directly affect the reliable operation of the protection devices. In order to solve the problem that the transformer protection device does not operate correctly under various abnormal conditions of the ring network, the 220 kV transformer protection sub-machine configuration mode is taken for an example to analyze various abnormal situations that may exist in the ring network and the processing principles and solution are proposed. Based on the solution, the test environment is built and the rationality and feasibility of the solution are verified. The ring network anomaly solution can effectively improve the stability and reliability of the operation of the localized distributed transformer protection devices.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. JBB17201600240).

Key words: transformer protection; distributed; localization; ring network anomaly

0 引言

智能变电站的迅速发展, 有力推动了继电保护技术创新, 同时也暴露出一些问题^[1-4], 主要体现在: 智能变电站继电保护多种技术路线并存、技术原则不统一、发展方向不明确, 甚至突破了继电保护“四性”基本原则, 给电网运行带来诸多潜在风险。因此, 智能变电站的继电保护技术亟待提升。

近年来, 国家电网公司提出了就地化继电保护的思路^[5-9], 其主要特点是贴近一次设备, 减少了装置模拟量采集及跳闸回路的中间环节, 提高了保护

装置可靠性和速动性。采用标准化接口, 可实现“工厂化”调试及“更换式”检修, 具备良好的环境适应能力, 提高了装置运维的便捷性。

1 就地化变压器保护方案

220 kV 就地化分布式变压器保护配置方案如图 1 所示, 变压器高压侧、中压侧、低压 1 侧、低压 2 侧及本体侧分别配置相应的分布式保护子机, 各保护子机采集本侧的模拟量和开关量信息, 并通过环网共享采样数据^[10-15]。

就地化分布式变压器保护采用双向环形网络, 各子机的启动 CPU 和保护 CPU 分别接入一个双向冗余环网, 使得启动 CPU 和保护 CPU 在模拟量和

开关量的采集、传输、运算处理等方面均能做到物理独立, 从而保证除出口继电器外的任一元器件损坏时保护不误动^[16-18]。网络拓扑结构如图 2 所示。

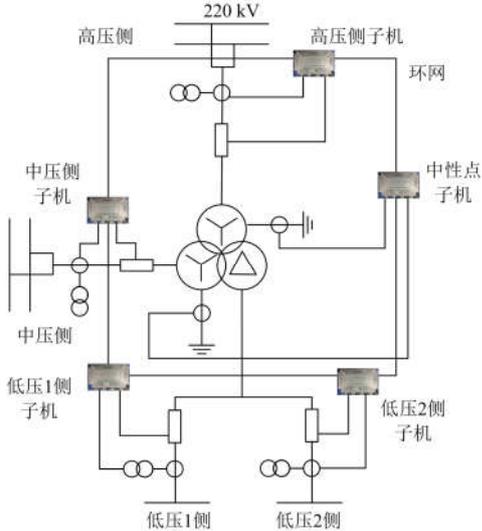


图 1 220 kV 就地化变压器保护配置图

Fig. 1 Configuration diagram of 220 kV localization transformer protection

其中, 启动环和保护环为物理独立的双向冗余环, 具有零时间恢复特性; 环网报文格式由标准以太网报文增加环网特征字段组成; 环网报文含报文传输延时修正域(FTCF), 具有传输延时修正的能力。

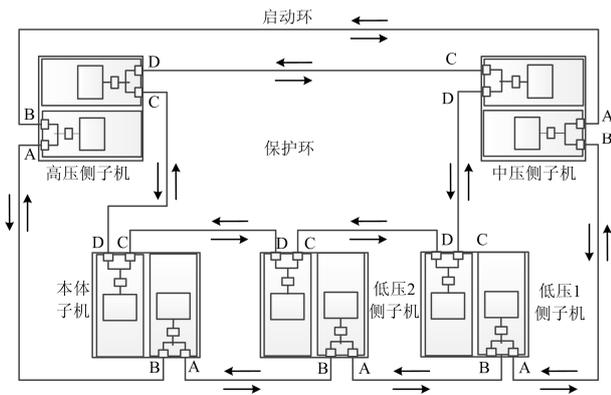


图 2 双向双环网络拓扑结构图

Fig. 2 Bidirectional dual-loop network topology

装置保护环(启动环)网内传输的内容包括采样值、开关量、自检校验和定值校验(含软压板、参数)信息等, 其报文帧格式如表 1 所示。

采样值: 变压器保护各子机采用双 AD 采样, 启动环和保护环各传输一路 AD。保证了启动 CPU 和保护 CPU 在模拟量的采集、传输和运算处理等方面均能做到物理独立。

表 1 环网报文帧格式

Table 1 Ring network message frame format

报文头	目的地址		
	源地址		
	环网类型(0x892F)		
	PathID	LSDUSize 链路数据长度	
	SequenceNumber 报文序号		
	Ethertype 应用帧类型		
	APPID 应用标识		
	长度(m+8)		
	FTCF 报文延时修正域		
	APDU 数据	APDU 数据 T-L	
APDU 版本			
ASDU 数目			
ASDU 数据 T-L			
ASDU_1 采样值		ASDU T-L	
		样本计数器	
		采样率	
		采样值 T-L	
		通道 1	
		通道 2	
...			
ASDU_2 开关量		ASDU T-L	
		测试标志 test	
		GOOSE 数据的 ASN.1 编码单元 个数	
		状态值 T-L	
		第 1 组开关量状态	
		第 2 组开关量状态	
		第 3 组开关量状态	
第 4 组开关量状态			
ASDU_3 整型值		ASDU T-L	
	整型值_1		
	整型值_2		
	...		
	整型值_16		
报文尾	MAC 填充		
	FCS 帧校验		

开关量: 各子机采集本侧的开关量, 分别在启动环和保护环中传输。

自检信息: 各子机保护 CPU 和启动 CPU 将各自运算处理的自检信息, 分别在启动环和保护环中传输。

定值校验码: 各子机的保护 CPU 和启动 CPU

分别计算各自定值、软压板和参数的校验码，分别在启动环和保护环中传输。

2 环网异常情况分析

如上所述，就地化分布式变压器保护方案中各子机之间通过环网连接来交换数据，较之前独立的保护装置增加了环网环节。环网中可能存在的异常情况将影响保护装置采样，进而直接影响保护装置整体运行的稳定性和可靠性。因此需要对环网中可能存在的问题进行详细分析，并采取有针对性的处理措施和解决方案。

根据环网中传输的数据、运行环境、环网结构等因素分析，环网可能存在的异常情况有以下几个方面。

1) 环网中断。针对双向双环的环网方案，主要的中断情况有：(1) 单向中断；(2) 双向中断，如图 3 所示。

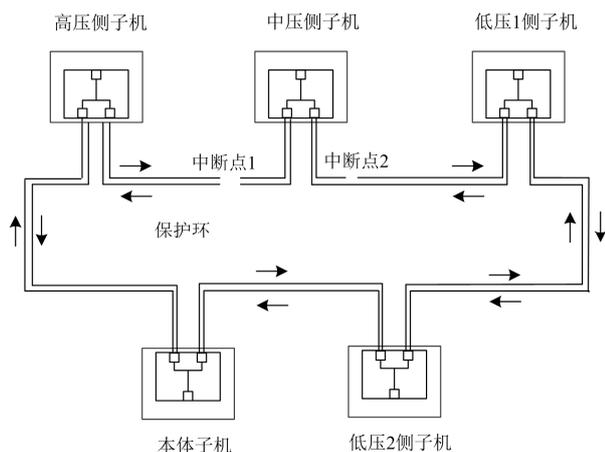


图 3 保护环中断网络拓扑结构图

Fig. 3 Topology diagram of protection ring interrupt network

在双向双环模式下，保护环和启动环任意一个环单方向中断后，各子机之间的数据仍能通过该环另外一个方向进行传输共享，因此单方向中断对保护逻辑无影响。但双向网络均中断的情况下，各子机之间的数据交互将中断，因此双向环网中断影响保护逻辑。

2) 采样值数据品质异常。某子机采样异常时，其发送至环网的采样值将置无效品质位，以告知其他子机该子机存在采样异常的情况。如果其他子机接收并使用异常的数据，将影响保护逻辑。

3) 采样值数据异常。数据异常主要包含以下几方面：

- (1) 报文异常；
- (2) FTCTF 超范围；

- (3) 帧序号不连续；
- (4) AD 报文异常；
- (5) AD 通道数目错误；
- (6) 等间隔性异常；
- ...

某子机的软件或者硬件异常均可能导致本子机发送异常报文的情况发生，将影响接收子机的采样，进一步影响保护逻辑。

4) CRC 校验异常。环网报文 ASDU_3 中传输的参数信息 CRC 可能存在不一致的情况，主要有以下几种：

- (1) 环网定值不一致；
- (2) 环网软压板不一致；
- (3) 环网参数不一致。

以上三类异常时将直接影响保护装置的定值、软压板和参数，影响采样及保护逻辑。

5) 子机异常。当某子机自检异常时，本子机的采样信息将不可靠，其他正常运行子机需进行相应处理，以防止异常子机的数据影响本机的保护逻辑。

3 环网异常解决方案

环网出现异常时，保护装置需要进行有针对性地处理。采样值数据出现异常时，保护逻辑需快速有效闭锁。针对可能出现的环网异常情况，软件处理主要有如下两种方案。

方案 1：某一子机环网数据异常时，闭锁全部子机的全部保护逻辑。

方案 2：某一子机环网数据异常时，闭锁与异常数据相关的保护，保留与异常数据无关的保护逻辑。

上述两种方案中，方案 1 实现简便，但由于分布式模式采用多子机实现整套保护功能，保护装置整体发生异常的概率升高，任意一子机的异常将导致保护装置整体退出，因此该方案会使异常影响的范围扩大。方案 2 根据异常数据对不同保护的影响情况划分了异常数据的影响范围，保留了部分正常的保护功能，可最大限度地减小异常情况对保护的影响。对比分析选择采用方案 2。

以 220 kV 典型组网模式为例，分析各子机采集的部分交流量及其所涉及的保护逻辑^[19-20]，如表 2 所示。

依据方案 2，分析环网数据异常情况下保护的处理方案，结合图 4 中 220 kV 就地化分布式变压器保护组网拓扑图，以本体子机采集通道异常为例进行分析。

表 2 220 kV 各子机采集部分交流及涉及保护
Table 2 220 kV sub-machines collecting part of the communication and related protection

子机	电流	涉及保护
高子机	高压 1 侧电流	差动保护 高后备保护
	高压 2 侧电流	
中子机	中压侧电流	差动保护 中后备保护
低 1 子机	低压 1 侧电流	差动保护 低 1 后备保护
	低压 1 侧电抗器电流	
低 2 子机	低压 2 侧电流	差动保护 低 2 后备保护
	低压 2 侧电抗器电流	
本体子机	公共绕组电流	公共绕组后备保护
	公共绕组零序电流	
	接地变电流	接地变后备保护
	接地变零序电流	

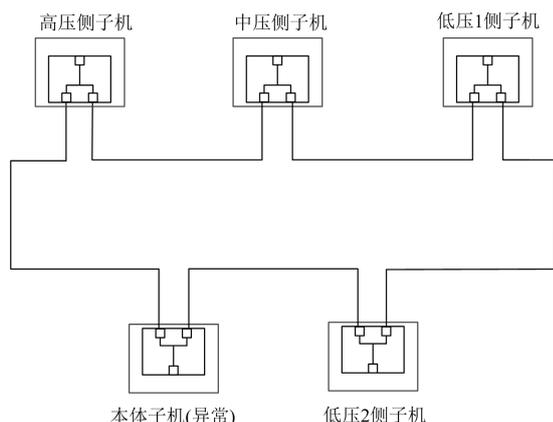


图 4 保护环采集通道异常网络拓扑结构图

Fig. 4 Topology diagram of protection loop acquisition channel abnormal network

情况 1: 本体子机采集通道异常时应闭锁本体子机相关的保护功能, 即闭锁全部子机的公共绕组后备保护、接地变后备保护; 而与之无关的其他保护, 如差动保护、高后备保护、中后备保护、低后备保护、电抗器后备保护等功能均正常投入。

情况 2: 本体子机装置异常时, 应闭锁本子机的全部保护功能; 其他子机应闭锁与本体子机采集通道相关的保护, 即公共绕组后备保护、接地变后备保护; 而与之无关的其他保护如差动保护、高后备保护、中后备保护、低后备保护、电抗器后备保护等功能均正常投入。

情况 3: 涉及全部子机的异常情况, 如环网内传输的定值 CRC 不一致, 此时无法确定定值信息的错误来源, 进而无法区分正常与异常的保护逻辑,

因此需要闭锁全部子机的全部保护。

基于方案 2 的原则, 环网中可能存在的异常情况, 采取如下的处理方案。

1) 环网中断

单向环网中断不影响保护功能, 不闭锁保护, 但应告警提示, 以提醒运行人员及时处理。

双向环网中断会影响子机之间的数据传输, 此时子机将出现采集数据不完整的情况, 应按照上述情况 1 进行处理。

2) 采样值数据品质异常

采样值数据品质异常时, 该通道数据无效, 应按照上述情况 1 处理, 闭锁与异常通道相关的保护, 其他保护正常投入。

3) 采样值报文格式异常

采样值报文格式异常时, 该帧报文按无效处理, 应按照上述情况 1 处理, 闭锁与该报文内通道相关的保护, 其他保护正常投入。

4) CRC 校验异常

CRC 校验中含有定值、软压板及参数信息, 任意一个不一致时无法划分影响保护的的范围, 应按照上述情况 3 处理, 闭锁全部子机的全部保护功能。

5) 子机异常

某子机的软件或硬件出现自检异常告警时, 本子机的保护功能退出, 此时其他子机接收保护此信息后, 应按照上述情况 2 处理, 闭锁与该子机相关保护, 其他保护正常投入。

针对影响保护功能的环网异常情况, 保护逻辑判断应实现快速判断: 在怀疑异常时应瞬时闭锁, 以防止短时异常引起快速保护的异常动作; 经过一定延时后仍异常应发长延时告警。环网异常返回后, 异常告警及保护功能应能自恢复, 且自恢复过程应留有足够的判断裕度, 以躲过对保护逻辑算法的影响。

4 环网异常试验验证

为验证方案有效性, 搭建测试环境^[21-24]如图 5 所示。

测试装置设置情况: 采用 220 kV 变压器典型接线(高 1+中 1+低 2+本体, 共 5 个子机), 保护装置投入纵差保护、高压侧过流保护、中压侧过流保护、低压 1 侧过流保护、低压 2 侧过流保护、低 1 电抗器过流保护、低 2 电抗器过流保护、公共绕组过流保护及接地变过流保护。

高、中压侧子机的启动环接入网络测试仪, 可通过网络测试仪更改环网报文数据以模拟环网中的各种异常情况, 进而验证异常处理方案的可行性, 验证情况汇总如表 3 所示。

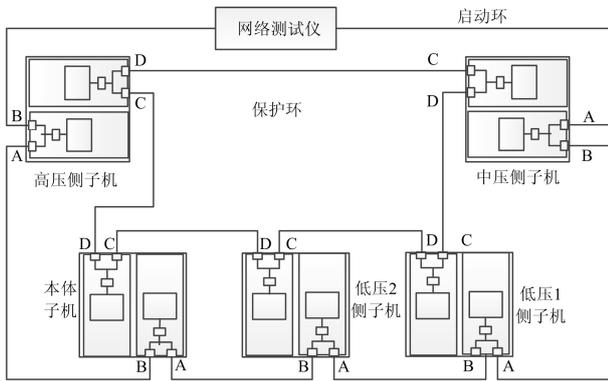


图5 保护环网异常测试拓扑图

Fig. 5 Protection ring network abnormal test topology

表3 测试方案及测试现象

Table 3 Test plan and test phenomenon

项目	测试方案	保护动作行为
单向中断	模拟环网单向中断,使用继保测试仪对各环网设备施加故障量,依次验证投入的各个保护	保护均正常动作
双向中断	模拟高压侧子机环网双向中断,使用继保测试仪对各环网设备施加故障量,依次验证投入的各个保护	高侧子机:高过流正常动作,其他保护闭锁 其他子机:差动、高过流闭锁,其他保护正常动作
采样数据品质异常	模拟启动环内高压侧三相电流采样值数据品质异常,施加故障量,依次验证投入的各个保护	差动、高过流保护闭锁 其他保护可正常动作
采样值报文格式异常	模拟启动环内高压侧子机发送的报文格式异常,包含报文头异常、FTCF超范围、帧序号不连续、AD报文异常、AD通道数目错误、间隔性异常等环网报文类异常。施加故障量,依次验证投入的各个保护	差动、高过流保护闭锁 其他保护可正常动作
CRC校验异常	整定高压侧子机定值(软压板、参数)与其他子机不一致。施加故障量,依次验证投入的各个保护	闭锁全部保护
子机异常	模拟高压侧子机硬件类异常,高侧子机自检异常,保护退出。施加故障量,依次验证投入的各个保护	高侧子机:闭锁全部保护 其他子机:差动、高过流闭锁,其他保护正常动作
断电测试	模拟高压侧子机直流失电。施加故障量,依次验证投入的各个保护	其他子机:差动、高过流闭锁,其他保护正常动作

经试验证明,测试现象符合设计预期,当某一通道或者子机异常时,可以有效闭锁异常通道相关的保护逻辑,防止异常数据引起保护误动,同时也保留了正常通道的保护逻辑,缩小了异常的影响范围。

5 结论

就地化分布式变压器保护通过双向环形网络实现数据交换,环网的信息异常将影响保护装置的可靠运行。按照本文介绍的环网异常整体解决方案,可以完整且有效地应对就地化保护环网出现的各类异常,从而保证就地化保护装置的稳定可靠运行。

参考文献

- [1] BO Zhiqian, LIN Xiangning, WANG Qingping, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 1-8. DOI:10.1186/s41601-016-0012-2.
- [2] 张旭泽, 郑永康, 康小宁, 等. 智能变电站继电保护系统所面临的若干问题[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 90-96.
ZHANG Xuze, ZHENG Yongkang, KANG Xiaoning, et al. Several problems of intelligent substation relay protection system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 90-96.
- [3] 张晓悦, 谈树峰, 杨颖安, 等. 数字化变电站时间同步系统异常分析及其整改[J]. 广东电力, 2013, 26(9): 40-44.
ZHANG Xiaoyue, TAN Shufeng, YANG Ying'an, et al. Analysis on abnormality of time synchronization system in digital substation and rectification measures[J]. Guangdong Electric Power, 2013, 26(9): 40-44.
- [4] 赵亮, 钱玉春, 刘宏君, 等. 数字化变电站抗异常数据的方法[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(19): 97-99.
ZHAO Liang, QIAN Yuchun, LIU Hongjun, et al. Abnormal data resisting method in digital substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(19): 97-99.
- [5] 刘宏君, 裘愉涛, 徐成斌, 等. 一种新的智能变电站继电保护架构[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(3): 49-51.
LIU Hongjun, QIU Yutao, XU Chengbin, et al. A new architecture of relay protection in smart substations[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(3): 49-51.
- [6] 牛强, 钟加勇, 陶永健, 等. 智能变电站二次设备就地化防护技术[J]. 电力建设, 2014, 35(9): 76-81.
NIU Qiang, ZHONG Jiayong, TAO Yongjian, et al. In-site secondary equipment protection of smart substation[J]. Electric Power Construction, 2014, 35(9): 76-81.
- [7] 李生权, 钱文姝. 智能变电站技术的现状与发展趋势研究[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(12): 59-64.
LI Shengquan, QIAN Wenshu. Research on the current situation and development trend of smart substations technology[J]. Power System and Clean Energy, 2017, 33(12): 59-64.
- [8] HUANG Q, JING S, LI J, et al. Smart substation: state of

- the art and future development[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2017, 32(2): 1098-1105.
- [9] 周小波, 唐治国. 基于 MapReduce 架构的就地化分布式母线保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 128-135.
ZHOU Xiaobo, TANG Zhiguo. Research on outdoor installation distributed busbar protection based on MapReduce architecture[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 128-135.
- [10] 董贝, 薛钟, 张尧, 等. 基于 IEC61850 逻辑设备管理层次结构的就地化保护装置建模研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(14): 165-170.
DONG Bei, XUE Zhong, ZHANG Yao, et al. Research and application of modeling for on-site installation protection based on IEC61850 logical devices management hierarchy[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(14): 165-170.
- [11] DEAN J, GHEMAWAT S. MapReduce:simplified data processing on large clusters[C] // Proceedings of the 6th Symposium on Operating System Design and Implementation, 2004, New York: ACM: 137-150.
- [12] 张尧, 李玉平, 陈实. 分布式就地化变压器保护定值自整定的实现方案研究[J]. 智慧电力, 2017, 45(10): 72-76.
ZHANG Yao, LI Yuping, CHEN Shi. Research on distributed on-site transformer protection self-setting solution[J]. Smart Power, 2017, 45(10): 72-76.
- [13] 张波, 吕军, 宁昕, 等. 就地型馈线自动化差异化应用模式[J]. 供用电, 2017, 34(10): 48-53, 13.
ZHANG Bo, LÜ Jun, NING Xin, et al. Differential application mode of local type feeder automation[J]. Distribution & Utilization, 2017, 34(10): 48-53, 13.
- [14] 裘愉涛, 徐凯, 陈福锋, 等. 基于双向环网的变压器保护就地化实现方案[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 41-45.
QIU Yutao, XU Kai, CHEN Fufeng, et al. Implementation scheme of outdoor installation transformer protection based on bidirectional ring network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 41-45.
- [15] 邓茂军, 樊占峰, 倪传坤, 等. 就地化分布式变压器保护方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(9): 95-100.
DENG Maojun, FAN Zhanfeng, NI Chuankun, et al. Research on scheme of outdoor installation distributed transformer protection[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(9): 95-100.
- [16] 500 kV 就地化保护变电站[J]. 电力工程技术, 2018, 37(3): 2.
- [17] 赵家庆, 徐春雷, 高宗和, 等. 基于分布式同步方法的智能变电站采样值组网技术[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(24): 60-65, 75.
ZHAO Jiaqing, XU Chunlei, GAO Zonghe, et al. A networking technology for sampled values in smart substations based on distributed synchronization[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(24): 60-65, 75.
- [18] 吴通华, 蒋雷海, 李友军. 电力系统电气量异常采样值实时辨识方法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(23): 95-98.
WU Tonghua, JIANG Leihai, LI Youjun. Real time identification of abnormal sampling data of power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(23): 95-98.
- [19] 国家电网公司. IEC61850 工程继电保护应用模型: Q/GDW 1396—2012[S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [20] 国家电网公司. 变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范: Q/GDW 1175—2013[S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [21] 张沛超, 高翔. 全数字化保护系统的可靠性及元件重要度分析[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(1): 77-82.
ZHANG Peichao, GAO Xiang. Analysis of reliability and component importance for all-digital protective systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(1): 77-82.
- [22] 李刚, 黄继东, 倪传坤, 等. 智能变电站就地化保护仿真测试系统设计与探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(17): 152-157.
LI Gang, HUANG Jidong, NI Chuankun, et al. Discussion on the construction scheme of intelligent substation on-site protection simulation test system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(17): 152-157.
- [23] 李岩军, 艾淑云, 王兴国, 等. 继电保护就地化及测试研究[J]. 智能电网, 2014, 2(3): 16-21.
LI Yanjun, AI Shuyun, WANG Xingguo, et al. Locally installed mode and test research of relay protection[J]. Smart Grid, 2014, 2(3): 16-21.
- [24] 孔凡坊, 杨彬伦, 王瑞. 智能变电站数字化采样测试技术及应用探讨[J]. 电测与仪表, 2013, 50(5): 42-46.
KONG Fanfang, YANG Binlun, WANG Rui. Application of digital sampling test techniques in smart substation[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2013, 50(5): 42-46.

收稿日期: 2018-12-17; 修回日期: 2019-05-11

作者简介:

石磊(1984—), 男, 通信作者, 本科, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: shilei@sznari.com

周浩(1984—), 男, 本科, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: zhouhao@sznari.com

陆兆沿(1984—), 男, 本科, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护。E-mail: luzy@sznari.com

(编辑 许威)