

DOI: 10.7667/PSPC161666

保护光电转换装置告警在线采集系统与保护通道故障自动分析定位方法研究

张雁¹, 牟兴伟², 马元林³

(1. 国网陕西省电力公司信息通信公司, 陕西 西安 710048; 2. 西安交通大学电子与信息工程学院, 陕西 西安 710049; 3. 国网安康供电公司, 陕西 安康 725000)

摘要: 针对保护光电转换装置告警信息不能在线监测的问题, 设计了基于树莓派的保护光电转换装置的在线采集系统。提出了综合利用采集到的保护光电转换装置告警信息与传输设备专业网管告警信息, 对保护通道故障进行自动分析判断的流程。所提出的在线监测系统和故障自动分析判断流程, 省去了现场查看保护光电转换装置告警的步骤, 简化了保护和通信两专业人工协调分析的程序, 对及早发现和定位故障区段, 提升保护通道故障排查处理的智能化水平有积极意义。

关键词: 保护通道; 保护光电转换装置; 故障定位; 告警采集; 通信

Study on the alarm on-line acquisition system for protection photoelectric conversion device and automatic analysis and localization method for protection channel fault

ZHANG Yan¹, MOU Xingwei², MA Yuanlin³

(1. Information and Communications Company, State Grid Shaanxi Electric Power Company, Xi'an 710048, China;
2. School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
3. State Grid Ankang Power Supply Company, Ankang 725000, China)

Abstract: Focused on the problem that the protection photoelectric conversion device alarm information can not be monitored on-line, the alarm acquisition system based on the Raspberry Pi is proposed for the protection photoelectric conversion device. The automatic analyzing and judging flow is proposed for the protection channel fault, which is based on the comprehensive analysis of the alarm information about protection photoelectric conversion device and professional network management system of the transmission equipment. Via the proposed on-line monitoring system and the fault automatic analysis and judgement procedure, the step of spot investigation of the alarm information for the protection photoelectric conversion device is saved, and the procedure of coordination and analysis by the two kinds of experts, including the communication and protection ones, is simplified. It has positive significance for detecting and locating the protection channel fault section early, improving the intelligent level of the protection channel fault searching and processing.

Key words: protection channel; protection photoelectric conversion device; fault location; alarm acquisition; communication

0 引言

线路保护装置实时交换线路两侧电量状态, 以达到在最短时间内发现和切除故障的目标, 是确保电网安全稳定运行的重要防线之一^[1-4]。光纤因具有抗超高压、抗雷电电磁干扰、频带宽和损耗低等优点, 已成为 220 kV 及以上线路承载保护信号的主要

介质^[5]。光纤保护通道的正常运行直接影响到保护装置能否快速、正确动作, 对电网安全影响重大^[6-7]。

光纤保护通道分为专用光纤通道和复用光纤通道两种^[8-9]。复用保护通道不受距离限制, 资源利用率高, 在线路保护中应用最为广泛。复用保护通道中间交接设备环节多, 又以数字配线架为分界点, 由保护和通信两个专业分别运维^[10]; 位于运维边界

处的保护光电转换装置,目前尚未实现故障信号的自动采集与在线监测^[11],一旦发生故障,需要两个专业共同到现场查看状态,并人工逐段排查故障。这种复用光纤保护通道的故障排查现状成本高、效率低,已难以适应变电站无人值守的新要求,开发综合故障自动定位系统已十分必要^[12-13]。

1 保护通道故障处理现状及问题分析

1.1 保护通道模型及运维职责分工

保护通道的构成模型如图1所示,按照《电力通信运行管理规程(DL/T544—2012)》,通信专业与保护专业的“维护分界点为通信机房数字配线架”,数字配线架接线端子(不含端子)至保护专业设备间的电缆、光缆由保护专业负责,接线端子(含端子)至通信设备的电缆、光缆由通信专业负责。

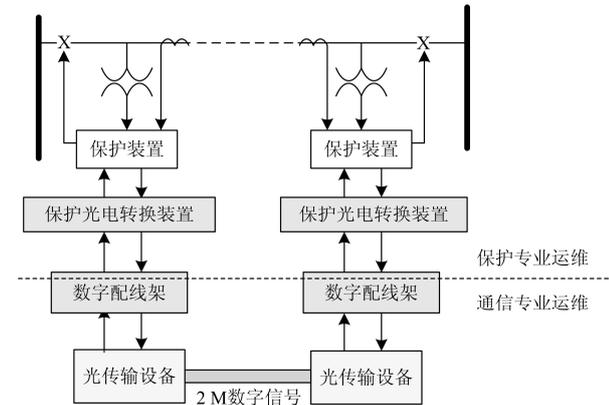


图1 保护通道构成及运维分界图

Fig. 1 Protection channel constitution and operation and maintenance boundaries

1.2 保护光电转换装置告警信号应用现状

保护光电转换装置主要实现将保护信息由2M电信号转换为光信号,是保护和通信两专业运维分界点处的重要有源设备。陕西电网内很多变电站采用了国电南瑞公司的MUX-2M型保护光电转换装置,该装置有5个LED指示灯显示运行状态,分别是运行指示灯、电源指示灯、收告警灯、光告警灯和电告警灯。

保护光电转换装置的指示灯信号对复用保护通道故障分析判断有重要价值,但目前这些运行告警信号均未能实现自动采集与在线监测。每次保护通道故障,都需要现场人工查看,延长了故障分析定位时间,增加了电网安全运行风险。

1.3 保护通道故障处理现状及问题分析

通信专业网管告警信息和保护光电转换装置告警灯信息都对保护通道故障定位有重要指示作

用。但目前保护光电转换装置告警信号不能在线监测,需要专业人员前往现场人工核查。严重制约了保护通道故障处理的效率和自动化水平。保护通道是点对点传输,又以数字配线架为界,由保护、通信两专业共同运维,每次保护通道故障,都需要协调保护、通信两专业人员前往两端站点进行逐段的分析、环回测试,综合两端的情况才能完成故障定位,非常费时费力。

文献[14-15]从保护装置通信协议完善及故障数据帧的综合分析入手,对复用保护通道故障在线诊断进行了研究,但未考虑对保护光电转换装置和通信网管侧故障信息的综合利用。本文设计出一套保护光电转换装置的自动采集与在线监测系统,并基于通信专业网管告警信息与保护光电转换装置告警信息的综合在线分析,实现故障区段的快速、自动化定位。

2 保护光电转换装置告警信号采集与在线监测关键技术

2.1 系统概述

为实现保护光电转换装置告警信息的自动采集与在线监测,需要开发数据采集装置与告警信息回传系统,实现省公司中心主站对全省保护光电转换装置告警的在线监测。

目前220 kV及以上变电站每台保护光电转换装置柜内装有3~6条线路的保护光电转换装置。每个保护光电转换装置需要采集的运行告警信号有4个左右,即每个保护光电转换装置柜有12~24路告警信号的采集需求。

本文设计一种保护光电转换装置故障信号采集与在线监测系统,在每个变电站安装故障信号采集设备2套,分别对站内两套双重化配置的保护光电转换装置故障信号进行打包后通过10 M/100 M以太网通道将故障信号回传至省公司主站,主站人员可登陆系统在线查看各个保护光电转换装置的运行告警信息。

2.2 信号采集部分硬件设计

MUX-2M保护光电转换装置告警灯采用发光二极管,有故障时,发光二极管负极为5 V高电平,反之0 V低电平。为实现故障信号采集,设计采集电路如图2所示。将一对信号线通过隔离器并接在发光二极管两端,将告警信号采集到信号线上,隔离器主要起电压调整作用,将5 V电压降低至3.3 V,满足Raspberry Pi ARM单片机的输入电压要求。

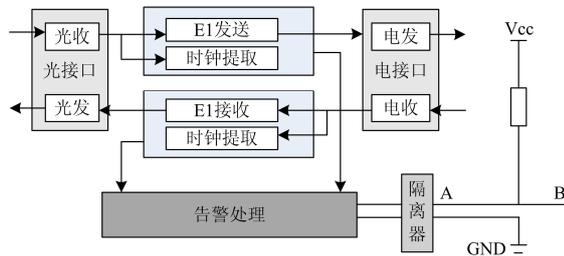


图 2 保护光电转换装置告警信号采集部分硬件设计

Fig. 2 Hardware design of alarm signal acquisition part for protection photoelectric conversion device

当 MUX-2M 正常工作时, A 处断开, 此时 B 为高电平; 反之当 MUX-2M 出现故障时, A 处闭合, B 为低电平, B 处的输出接到下节所描述的 ARM 单片机通用 I/O 口上, 即可完成对故障信号的采集。

2.3 告警信号采集与处理系统硬件设计

本文所设计的保护光电转换装置告警信号采集与处理系统采用 Raspberry Pi(树莓派)2B 型作为硬件平台。

Raspberry Pi 是由英国的慈善组织 The Raspberry Pi Foundation(树莓派基金会)推出的一款 ARM 开发板, 体积只有信用卡大小, 预装 Linux 系统, 搭载 ARM 架构处理器, 支持 C 和 python 等编程语言。Raspberry Pi 2 代 B 型拥有一个 900 MHz 4 核 ARM Cortex-A7 构架的 CPU, 自带 1G 运行内存, 以 SD/MicroSD 卡为内存硬盘, 卡片主板周围有 4 个 USB 接口和一个 10/100 M 以太网接口, 有多达 26 个的通用 I/O 口, 完全可以满足单台光电转换装置柜 24 路 MUX-2M 告警信号的处理和传输需求。

本系统的基本原理框图如图 3 所示, 将从图 2 中 B 处收到的 24 路采集信号, 分别连接到 Raspberry Pi 的通用 GPIO 端口上。Raspberry Pi 将它们打包成 10 M 的以太网故障数据帧, 并通过信息内网或专网通道回传至省公司数据主站。故障数据帧的格式请参考下一节。

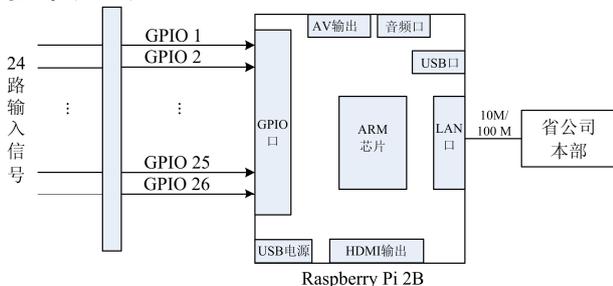


图 3 保护光电转换装置告警信号回传系统硬件设计

Fig. 3 Hardware design on transmission system of protection photoelectric conversion device alarm signal

2.4 信息帧格式及系统软件设计

故障数据帧格式定义如图 4 所示。帧开始为 12 个字节的时间戳, 包含了年月日时分的信息, 使用 ASCII 表示。接下来是 24 个字节的故障数据, 每个字节取 1 或 0 来表示某个 MUX-2M 节点是否故障。最后是 2 个字节的 CRC 校验, 使用它可以来判断在通过 10 M 以太网传输时是否出错。



图 4 保护光电转换装置告警信息帧格式设计

Fig. 4 Design on alarm information frame format of protection photoelectric conversion device

Raspberry Pi ARM 单片机上有一个定时器中断。定时中断每 1 分钟产生 1 次, 每次中断将 24 个接口 B 上的高低电平信息读入, 打上时间戳, 再计算 CRC 后就组成一个以太网的帧传递到省公司本部。Raspberry Pi ARM 本身不判断是否有故障, 它只是将设备信息传回省公司。

以太网传递使用 UDP 协议, 而且为单向方式, 省公司本部不需要应答。如果发现 CRC 出错, 省公司主站系统只是简单地丢弃这个以太网包, 不进行任何回应, 降低程序的复杂度和调试的工作量。

如果出现了故障, 时间戳就可以显示是什么时候出现的故障。省公司根据不同的变电站发来的数据包的时间戳就可以推断出是哪里发生的故障。不同的变电站的 IP 地址不同, 可以使用它来区分不同的变电站。不同的字节位置用于区分不同的光电转换装置运行告警信号, 利用 IP 和字节位置就可以唯一定位光电转换装置运行告警信号。

省公司主站数据库接收数据后进行 CRC 校验, 校验正确后如果发现帧中的数据指示某个变电站保护光电转换装置有故障, 就把这一帧保存并显示出来。省公司主站运维人员登陆系统就可以查看各站保护光电转换装置运行状态。

3 保护通道故障综合分析定位

3.1 复用保护通道故障区段定位分析

复用保护通道故障区段可用图 5 进行划分。发现保护通道故障, 可通过在本端(A 站)通信光传输设备相应 2 M 电口上设置软环回来进行故障定位, 即在图中[发 6, 收 6]处将信号环回, 如环回后保护通道未恢复正常, 可将故障区段定位在 A 站“0-6”区段。也可在对端(B 站)通信光传输设备相应 2 M 电口上设置软环回, 即在图中[发 9, 收 9]处将信号环回, 如环回后保护通道恢复正常, 可将故障定位

在 B 站“9-9+”区段。

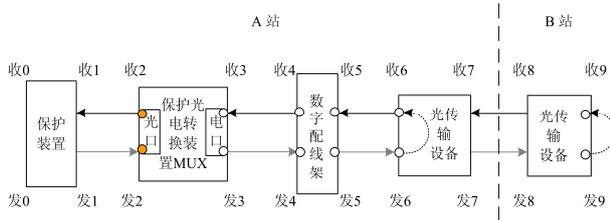


图 5 保护通道故障区段分析图

Fig. 5 Analysis chart of protective channel fault section

对于通信专业，传输设备 2 M 端口软环回可在传输专业网管上进行操作，但这一操作可能造成保护装置误动作，因此软环回操作前都需要保护专业人员先将保护退出，退出保护需要保护专业人员现场操作，不是最快捷的故障定位方法。

为快速定位保护通道故障，缩短保护通道中断时间，在进行现场操作和排查前，应优先利用各种在线监测运行告警信号进行故障区段定位，最大限度地确定故障区段位置，减少故障排查处理时间和人员投入。

3.2 复用保护通道运行告警信号分析

传输网管告警信号及指示意义如表 1 所示。TU-AIS 指示信息净荷与支路单元指针都是“1”，一般为接收 2 M 信号丢失。UP-E1-AIS 指示信息净荷为全“1”，即接收 2 M 信号中不含有有效信息，一般为保护装置故障，导致保护光电转换装置收发信号中皆不含信息。TU-AIS 一般为高阶告警导致，对于已投运业务，常由传输线路故障引起。

保护光电转换装置告警信号及指示意义如表 2 所示。电源灯灭，指示装置掉电。光告警指示接收保护装置光信号丢失；收告警指示接收光传输设备

表 1 传输网管告警信号及指示意义

Table 1 Alarm signal and its indicative meaning for transmission network management system

告警信号	告警指示意义	告警指示故障区段
TU-AIS	发送 2 M 信号丢失	收 6-收 9
T-ALOS	接收 2 M 信号丢失	发 2-发 6
UP_E1_AIS	接收 2 M 信号全 1	发 0-发 3

表 2 保护光电转换装置告警信号及指示意义

Table 2 Alarm signal and its indicative meaning for protection photoelectric conversion device

告警信号	告警指示意义	告警指示故障区段
电源灯灭	装置掉电	2-3
光告警	接收光信号丢失	发 0-发 2
电告警	接收电信号告警	收 6-收 9
收告警	接收电信号丢失	收 3-收 6

2 M 电信号丢失；电告警指示接收光传输设备 2 M 电信号未装载有效信息，信号失步等错误。

3.3 基于在线监测告警的复用保护通道故障综合分析处理流程

通信专业网管告警信息和保护光电转换装置告警灯信息都对保护通道故障定位有重要指示作用。最大限度地综合利用这些告警信息进行故障区段定位，可减少故障排查处理时间和人员投入，显著提升复用保护通道故障处理的自动化水平。图 6 给出了综合利用通信专业网管告警信息和保护光电转换装置告警灯信息对保护通道故障进行自动分析定位的流程。

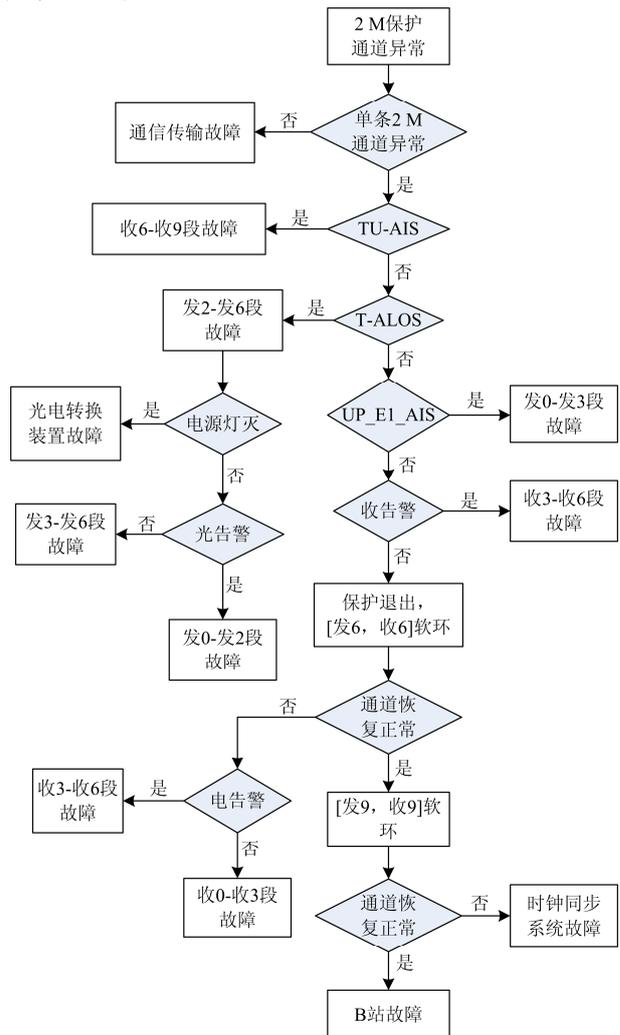


图 6 保护通道故障自动分析定位流程图

Fig. 6 Flow chart of automatic analysis and locating of protection channel fault

单条 2 M 通道异常：因 2 M 业务都是时分复用的，即与其他业务共同占用同一设备同一板卡，所以单条 2 M 通道故障，基本可以排除两端光

传输设备之间光路系统故障。

TU-AIS 告警出现：传输设备下行支路信号全“1”，出现此告警，提示为传输线路故障引起，故障区段“收 6-收 9”段。

T-ALOS 告警出现：传输设备接收 2 M 信号丢失，故障区段“发 2-发 6”段，有可能是 2 M 线缆中断、破损，2 M 接头松动、虚焊等引起，也有可能是保护光电转换装置掉电导致。

UP-E1-AIS 告警出现：传输设备接收保护光电转换装置 2M 信号为全“1”，一般为保护光电转换装置正常，保护装置侧问题引起，故障区段为“发 0-发 3”段。

光告警出现：保护光电转换装置接收保护装置光信号丢失，故障区段为“发 0-发 2”段，可能为保护光缆或跳接尾纤故障，也可能为光缆熔接处法兰损坏或尾纤接头松动，与法兰耦合不良^[16]。

收告警出现：保护光电转换装置接收传输设备 2 M 电信号丢失，故障区段“收 3-收 6”段，有可能是 2 M 线缆中断、破损，2 M 接头松动、虚焊等引起^[16]。

如上述告警均未出现，但保护装置提示通道故障，则只能通过逐段环回手段进行故障定位。保护退出后，可先在传输网管先后进行[发 6, 收 6]软环和[发 9, 收 9]软环，帮助将故障定位到单站。然后再逐段进行人工环回，进一步缩小故障区段。如环回后正常，放通后故障，则有可能为保护装置与传输设备时钟不匹配引起，一般为保护装置时钟设置方面的问题。

4 结论

复用光纤保护通道故障需要保护和通信两专业协同配合处理。保护光电转换装置的告警信号目前尚未实现自动采集和在线监测。每次复用光纤保护通道故障，都需要两专业人员共同到现场逐段分析和排查，非常费时费力。本文提出了一种保护光电转换装置告警信号自动采集和在线监测系统，并给出了对保护通道故障进行自动定位和分析的方法。该方法能够综合利用采集到的保护光电转换装置告警信息与传输设备专业网管告警信息，省去了现场查看保护光电转换装置告警的步骤，简化了保护和通信两专业人工协调分析的程序，对提升保护通道故障排查处理的智能化水平有积极意义。

参考文献

[1] 董勇. 光纤保护通道在线监测系统的研究与应用[J]. 智能电网, 2013, 1(2): 84-86.
DONG Yong. The study and application of optical fiber

protection channel on-line monitoring system[J]. Smart Grid, 2013, 1(2): 84-86.

[2] 郭捷龙. 继电保护测试技术的现状与展望[J]. 陕西电力, 2016, 44(3): 77-80.
WU Jielong. Status and development of protective relay test technology[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(3): 77-80.

[3] 韩平, 徐岩. 电力系统广域后备保护算法综述[J]. 陕西电力, 2015, 43(3): 53-57.
HAN Ping, XU Yan. Overview of wide-area backup protection algorithm in power system[J]. Shaanxi Electric Power, 2015, 43(3): 53-57.

[4] 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]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 344-350.

[5] 王志亮. 光纤保护通道故障处理及方法[J]. 电力系统通信, 2010, 31(9): 70-73.
WANG Zhiliang. Fault treatment and methods of optical fiber protection channel[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2010, 31(9): 70-73.

[6] 黄景光, 梅李鹏, 林湘宁, 等. 故障行波特性对光纤差动保护时延的影响分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(7): 76-82.
HUANG Jingguang, MEI Lipeng, LIN Xiangning, et al. Influence on the optical fiber differential protection delay based on characteristic of fault traveling wave[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(7): 76-82.

[7] 许俊现, 高会生, 汪洋. 用于线路纵差保护的 PTN 时分复用业务时延分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(23): 56-62.
XU Junxian, GAO Huisheng, WANG Yang. A delay time analysis of time division multiplexing services over PTN applied to line longitudinal differential protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(23): 56-62.

[8] 杨俊权, 王勇, 利韶聪, 等. 继电保护装置与通信设备 2 Mbit/s 光接口互联技术[J]. 南方电网技术, 2011, 5(4): 65-67.
YANG Junquan, WANG Yong, LI Shaocong, et al. The 2 Mbit/s optic-interfaces technology for relay protection and communication devices with protection channel multiplexing[J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(4): 65-67.

[9] 陈建宁, 仲惟师. 继电保护光纤通信接口技术及标准

- [J]. 电力系统通信, 2008, 29(4): 54-58.
CHEN Jianning, ZHONG Weishi. Technique and standard of relay protection interface in optical fiber communication[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2008, 29(4): 54-58.
- [10] 何霞, 应伟刚. 光纤保护通道检查与联调方法[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 190-192.
HE Xia, YING Weigang. On the optical fiber protection channel checks and joint debugging method[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 190-192.
- [11] 吴志宇. 超高压线路光纤保护通道故障分析及定位方法[J]. 电气技术, 2013, 31(9): 66-68.
WU Zhiyu. The fault analysis and location of EHV line fiber protection channel[J]. Electrical Technology, 2013, 31(9): 66-68.
- [12] 伊洋, 刘育权, 陈宇强, 等. 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(3): 135-140.
YI Yang, LIU Yuquan, CHEN Yuqiang, et al. Research of network communication fault location technique in smart substation based on comprehensive information judgment[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(3): 135-140.
- [13] 张磊, 陈宏君, 吴相楠, 等. 基于扩展 103 规约的保护装置通信与调试系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(21): 126-130.
ZHANG Lei, CHEN Hongjun, WU Xiangnan, et al. Design of communication and debugging system for protection device based on extended 103 protocol[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(21): 126-130.
- [14] 李响, 李彦, 刘革新. 光纤纵联保护通道故障在线诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(2): 147-150.
LI Xiang, LI Yan, LIU Geming. A channel fault diagnosis method for fiber pilot relay protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(2): 147-150.
- [15] 李彦, 王芊. 基于 C37.94 协议的纵差保护复用通道故障诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(7): 120-122.
LI Yan, WANG Qian. A fault detection method for multiplex channel of longitudinal differential protection based on protocol C37.94[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(7): 120-122.
- [16] 史新华, 解涑转, 白玉明. 光纤纵联保护通道常见故障分析[J]. 山西电力, 2013, 2(1): 17-19.
SHI Xinhua, XIE Suzhuan, BAI Yuming. Analysis of the common faults of optical fiber pilot protection channels[J]. Shanxi Electric Power, 2013, 2(1): 17-19.

收稿日期: 2016-10-09; 修回日期: 2017-02-28

作者简介:

张雁(1979—), 女, 通信作者, 高级工程师, 从事电力系统通信网络运行维护管理工作; E-mail: 517693653@qq.com

牟兴伟(1993—), 男, 硕士研究生, 从事电子与信息通信专业研究;

马元林(1973—), 男, 高级工程师, 从事电力通信系统建设及运行维护工作。

(编辑 张爱琴)